

I. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento poblacional humano genera impactos tanto en la accesibilidad como en la disponibilidad a largo plazo, de los recursos naturales. Guatemala es un país altamente rico en su biodiversidad, pero esto se ha visto comprometido por las actividades humanas que degradan los recursos naturales. En el año 1994, la población nacional total era de 8, 331,874 habitantes (INE 2006), para el 2002 ya se contaba con 11, 237,196 (INE 2002); esto indica un incremento del 35% de los habitantes en un período de 8 años. Por otro lado durante el 2006, las cifras poblacionales se encontraron en 12, 987, 829 habitantes (INE 2006), lo que demuestra que en 12 años la población aumentó 56% y en un lapso de 4 años la población incrementó aproximadamente 16%.

El precipitado incremento poblacional promueve acciones degenerativas a los ecosistemas, ya que se requiere de mayores cantidades de tierra para vivienda y producción. Según el Instituto de Estadística (INE), durante el año 2006, la cobertura forestal de Guatemala abarcaba 4, 192,731 has del territorio; para el 2007 éstas se habían reducido a 4, 119,567 has; lo que implica que 73,164 has (1.75%) fueron deforestadas en un año (INAB 2008). Es claro que la deforestación afecta los recursos acuáticos del país, por ende es necesario hacer notar la importancia de proteger los recursos forestales, para así garantizar la salud, calidad, cantidad y balance del recurso hídrico.

Durante el año 2009, The Nature Conservancy (TNC) en conjunto con el CEA, realizaron el “Diagnóstico ecológico y social del Altiplano Central de Guatemala”. El enfoque principal de dicha investigación fue determinar las variables ecológicas y socioeconómicas que caracterizan los remanentes del bosque de pino-encino del Altiplano Central, ocupando específicamente los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, sur de Quiché, Baja Verapaz y el norte del departamento Guatemala.

Como parte de dicho diagnóstico surge el trabajo presente; dado a que el tema del agua ha sido hasta el momento poco tratado, el enfoque principal de esta investigación fue los nacimientos de agua y otros tipos de cuerpos acuáticos, como riachuelos y lagunas dentro de la región. Con ello se puede generar una visión general de la salud del sistema hidrográfico del área, de igual manera se busca ubicar puntos posibles de perturbación de los cuerpos acuáticos de importancia para las poblaciones humanas. Este trabajo es un diagnóstico del estado actual de algunos componentes hídricos incluyendo a los nacimientos ubicados en la ecorregión pino-encino del Altiplano Central guatemalteco. Se contempló la realización del estudio abarcando cinco departamentos, siendo estos: Chimaltenango, Sacatepéquez, Quiché y Alta y Baja Verapaz. La metodología utilizada para llevar a cabo el mismo, involucra análisis fisicoquímicos (determinación de las concentraciones de nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, color, turbidez y pH), así como el uso de bioindicadores, macro-invertebrados, para determinar estado de perturbación del ecosistema.

Con base a la línea del informe de “Análisis espacial y generación de capas de información para el análisis de vacíos del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas” (Asociación Balam 2007), se procedió a seleccionar como sitios de estudio las regiones de: Finca Filadelfia en Sacatepéquez; Las Vegas en Chinique, Quiché; Agua Escondida en Chichoy, Chimaltenango; Chixoy en Alta Verapaz y Salamá en Baja Verapaz.

Los estudios fisicoquímicos en agua son amplios, se analizan muestras de agua desde ríos acaudalados y lagos hasta el agua de uso doméstico, con lo cual se ve beneficiada la población. Sin embargo, los análisis con macroinvertebrados disponibles al público son escasos en Guatemala, ejemplos de esto son los estudios realizados en la Laguna Lachuá como: “Análisis de la distribución de macroinvertebrados acuáticos a escala detallada en la Ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz (Soto 2008) y en Livingston: “Efecto del microhabitat generado por el sustrato sobre la abundancia y distribución de macroinvertebrados en el río Cáliz, biotopo Chocón Machacas, Livingston Izabal” (Calderón 2009).

Debido a la escasez de estudios de esta índole, no existe en Guatemala información suficiente que utilice esta metodología aplicada a nacimientos de agua; por ello se busca la introducción de esta herramienta a este estudio para generar una base para futuras investigaciones. El estudio además permitirá generar nueva información, especialmente de sitios de alta importancia como lo son los nacimientos de agua, los cuales han sido poco estudiados hasta el momento. Por otro lado, al introducir el uso de macroinvertebrados como herramienta de investigación, brinda varias ventajas; ya que es de bajo costo, fácil de utilizar e interpretar al momento de querer generar un diagnóstico de la calidad del agua de un área.

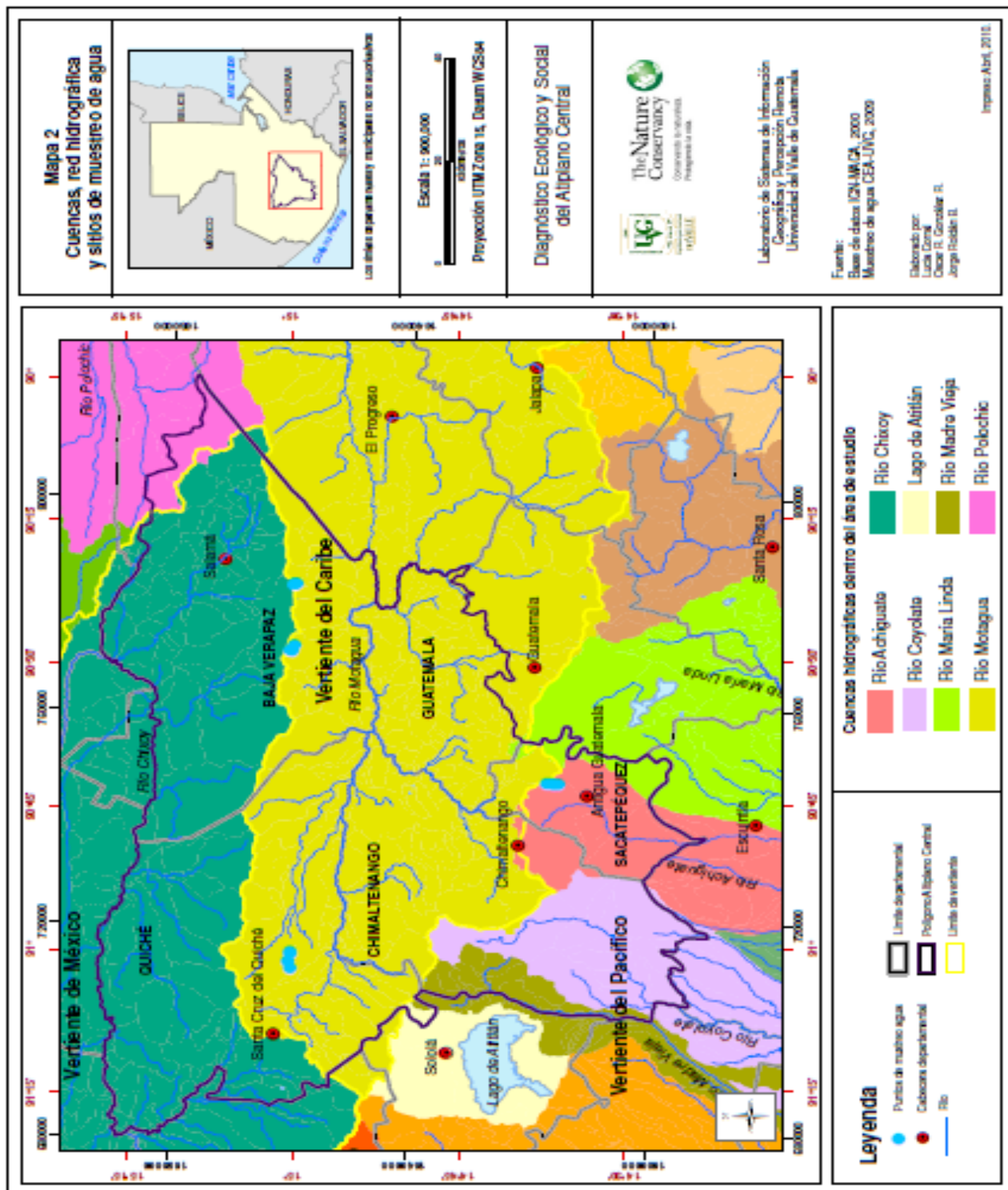
A. ANTECEDENTES

1. Datos generales del Altiplano Central. El Altiplano Central se ubica en la latitud $14^{\circ}53'17.17''$ y longitud $90^{\circ}43'15.9''$, se compone principalmente por áreas con altitudes entre 350 a 3,975 m SNM, ocupando una extensión de $7,882.39 \text{ km}^2$ (7.24% del territorio nacional). Dentro de la región se encuentran seis departamentos, siendo estos: Chimaltenango, Sacatepéquez, sur del Quiché Baja Verapaz, Alta Verapaz y noreste de Guatemala (Figura 1). En total el área la constituye 60 municipios, siendo Chimaltenango y Sacatepéquez los departamentos con mayor cantidad de municipios (CEA 2010).

En cuanto a la geografía del área, se observa un terreno montañoso, siendo La Sierra de Chuacús y parte de la cadena volcánica las principales cordilleras que atraviesan el Altiplano Central. Dentro del área se encuentran diez regiones fisiográficas, siendo el 53% del territorio total del Altiplano Central de tierras altas cristalinas. Esta formación se encuentra en los departamentos de Quiché, Baja Verapaz, Chiquimula, Zacapa e Izabal. Toda el área la conforma las principales fallas en el país, que controlan el drenaje de dos ríos de gran importancia: el Chixoy y el Motagua. El tipo de suelo está compuesto por serpentinitas, gneises metamórficos y esquistos (CEA 2010).

El 46% del Altiplano se compone a la vez por tierras altas volcánicas, que se extienden desde la cordillera del Pacífico en el sur hasta el norte de la sierra de los Cuchumatanes, abarcando todos los departamentos del Altiplano Central. Principalmente los tipos de suelo son volcánicos, derivados de basalto y riolacitas. El 1% del territorio restante está compuesto de pendientes volcánicas recientes, la depresión del Motagua y tierras altas sedimentarias (CEA 2010).

Figura 1. Mapa de los departamentos dentro del Altiplano Central y las cuencas hidrográficas. Cinco departamentos conforman el área de estudio seleccionados en el área del Altiplano Central, dentro de éstos se encuentran ocho cuencas hidrográficas.



Fuente: CEA 2010.

Según el Cuadro 1, la mayoría de los suelos están compuestos por 16 tipos de roca madre; siendo en su mayoría suelos entisoles (38% del territorio del Altiplano). Se caracterizan por ser suelos jóvenes con un contenido excesivo de agua, usualmente son arenosos alternados con capas de materia orgánica o mineral. El 23% del territorio vienen son suelos andisoles, los cuales están compuestos por altos contenidos de alófanos y fosfatos ya que provienen de cenizas volcánicas (CEA 2010).

Cuadro 1. Tipo de roca madre y su extensión en el territorio del Altiplano Central de Guatemala. Existen alrededor de 16 tipos de suelos a través del Altiplano Central, encontrándose una mayor variedad en el departamento de Quiché.

Material original/madre	Extensión (km ²)			
	Baja Verapaz	Chimaltenango	Quiché	Sacatepéquez
Caliza	50.84	37.39	3.78	-
Ceniza volcánica	94.37	921.18	181.97	256.84
Ceniza volcánica o material aluvial	-	30.7	-	-
Ceniza volcánica o roca	-	57.12	46.88	-
Ceniza volcánica pomácea	38.00	540.94	923.68	193.09
Esquisto	1283.19	98.28	571.20	-
Esquisto arcilloso	-	204.88	-	-
Granito suave y gneis	-	-	515.36	-
Granito, gneis	-	4.24	-	-
Lahar máfico	-	4.03	-	-
Lodo volcánico	-	6.37	-	-
Material máfico	-	8.90	-	-
Material volcánico y máfico mezclado	-	-	-	32.64
Roca granítica o ceniza volcánica	-	84.17	-	-
Roca serpentina	215.00	-	23.70	-
Serpentina	480.58	-	-	-
Sin clasificación	157.43	71.52	72.22	53.98
Total	2,319.40	1,864.93	2,366.73	536.56

Fuente: CEA 2010.

El 18.9% de los suelos, está compuesto por suelos inceptisoles, 11.3% alfisoles (con alto contenido de arcilla con alta saturación de bases, suelos muy fértiles), 7.3% ultisoles (alto contenido de arcilla con baja concentración de bases, son suelos pobres) y 0.62% por vertisoles (alto contenido de arcilla flexible, muy fértiles) (CEA 2010).

Dentro del área del Altiplano Central se encuentran siete zonas de vida, de igual forma existen dos ecorregiones dentro del área: los bosques de pino-encino de América Central, el cual ocupa el 54.18% del territorio; y los bosques montanos de América Central, ocupando el 45.82% del territorio. Dentro del área se ubican a la vez zonas semiáridas en el Valle del Motagua-Jutiapa y Chiquimula y la región de Salamá – Sacapulas (CEA 2010).

Cuadro 2. Zonas de vida (Holdridge) ubicadas en la región del Altiplano Central de Guatemala.

Zona de vida	Características	Extensión (km ²)	% del territorio del Altiplano Central
Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical	La vegetación natural típica está representada por rodales de <i>Quercus</i> spp. <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>Tillandsia guatemalensis</i> y <i>Alnus</i> .	3,428	46.27
Bosque Húmedo Tropical Premontano	<i>Pinus oocarpa</i> , <i>P. michoacana</i> <i>Curatella americana</i> , <i>Byrsonimia crassifolia</i> , <i>Cupressus</i> y <i>Quercus</i> spp.	2,303	31.08
Bosque Seco Premontano	Especies características: <i>Cochlospermum vitifolium</i> , <i>Swietenia humilis</i> , <i>Alvaradoa amorphoides</i> , <i>Sabal mexicana</i> , <i>Phylocarpus septentrionalis</i> , <i>Ceiba aesculifolia</i> , <i>Albizia caribaea</i> , <i>Pinus michoacana</i> y <i>Plumeria rubra</i> .	695	9.38
Bosque muy Húmedo Montano Bajo Tropical	Combinación de las especies predominante que puede considerarse como indicadora son: <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Pinus maximinoi</i> , <i>Quercus</i> spp., <i>Zinowiewia</i> spp. y <i>Buddleia</i> spp.	565	7.63
Bosque muy Húmedo Tropical	Es la zona de vida más rica en relación a su composición florística. Algunas especies características son <i>Orbignya cohune</i> , <i>Terminalia amazonia</i> , <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Lonchocarpus</i> sp, <i>Virola</i> sp, <i>Cecropia</i> sp.	417	5.63
Bosque muy Húmedo Montano Tropical	Entre la vegetación natural predominante puede encontrarse <i>A. guatemalensis</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>P.hartwegii</i> . <i>Quercus</i> spp., <i>Bocconia volcánica</i> , <i>Buddleia</i> spp. <i>Cestrum</i> spp., <i>Garya</i> spp. y <i>Baccharis</i> spp.	1	0.01
Total		7,409	100

Fuente: CEA, modificado por Margaret Dix 2010.

De las siete zonas de vida existentes en el Altiplano Central, la mayor extensión la cubre el Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (44%) y el Bosque Húmedo Tropical Premontano (31%); en menor extensión el Bosque muy Húmedo Montano Tropical (0.01%) (Cuadro 2 modificado de CEA).

La cobertura forestal del Altiplano se compone de tres tipos de bosque:

- Bosques mixtos los cuales ocupan 2,903 km², (36.8% del territorio), siendo un 70% del área total del Altiplano Central. Las especies dominantes en este tipo son pinos (*Pinus* spp), y encinos (*Quercus* spp). Estos bosques se ubican en los cinco departamentos del Altiplano, encontrándose un gran porcentaje en el departamento de Quiché (31%), le sigue Baja Verapaz (26%) y Chimaltenango (24%) (CEA 2010).

- Bosques de latifoliadas, ocupan 333 km² (4.2%), siendo el 8% del Altiplano Central. Se ubican principalmente en los departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, Chimaltenango y Sacatepéquez (CEA 2010).

- Bosques de coníferas, ocupan 893 km² (11.3% del territorio nacional), representan el 22% del Altiplano Central. Se ubican principalmente en el departamento de Quiché, predominando principalmente las especies de pino (*Pinus* spp.) y encinos (*Quercus* spp.) (CEA 2010).

El resto del territorio del altiplano es utilizado para actividades agrícolas, ocupando un 46% del área.

Cuadro 3. Especies forestales encontradas en la región del Altiplano Central de Guatemala.

Altitud (m SNM)	Especies forestales presentes en el Altiplano Central
> 3,100	<i>Pinus ayacahuite</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>Abies guatemalensis</i> y <i>Quercus acatenangensis</i> .
3,100 – 800	<i>P. oocarpa</i> (800 - 2,400 m SNM), <i>P. devoniana</i> (800- 2,500 m SNM), <i>P. donnellsmithii</i> y <i>P. maximinoi</i> (1,200 - 2,800 m SNM), <i>P. tecunumanii</i> (1,500 -2,600 m SNM), <i>P. montezumae</i> (1700 – 3,000 m SNM) <i>Q. brachystachys</i> (1,500-2,600 m SNM), <i>Q. candicans</i> (1,700-2,000 m SNM), <i>Q. crispipilis</i> (1,400 – 2,700 m SNM), <i>Q. crispipilis var. Pannosifolia</i> (1,400- 2,900 m SNM), <i>Q. peduncularis</i> (1,000- 3,000 m SNM), <i>Q. sapotaefolia</i> (800- 2,600 m SNM), <i>Q. segovienses</i> (1,000- 2,400 m SNM) y <i>Q. tristis</i> (1,000 -2,600 m SNM).

Fuente: CEA 2010.

En el Cuadro 3 se representan las especies forestales de pinos y encinos que se encuentran dentro de los bosques que componen al Altiplano Central. Entre estos existen nueve especies de pino y nueve especies de encinos que se distribuyen entre los 800 y 3,100 m SNM.

En cuanto al clima; el 87% del territorio del Altiplano presenta en general una precipitación media anual de 800-1,500 mm. El 12% recibe 1,500 a 3,500 mm anuales y el 1% restante presenta entre 3,500-4,500 mm anuales. Los niveles de temperatura promedio anual radican en los 10° C para las áreas de mayor altitud, y para las áreas de poca altitud alcanza hasta 28° C, como los casos de los municipios de Salamá y El Chol. Para las áreas más altas como los conos volcánicos las temperaturas pueden llegar a niveles inferiores a 8° C (CEA 2010).

La hidrografía de la región incluye cuencas hidrográficas de los tres tipos de vertientes, resultando un 46% del territorio perteneciente a la Vertiente del Caribe, 36% la Vertiente del Golfo de México y 18% la Vertiente del Pacífico (CEA 2010). La cuenca que domina en el territorio es el río Motagua, abarcando una extensión de 3,497 km² (44.3%) desde el oeste hacia el este de la región. Éste recibe agua de varios ríos, riachuelos y nacimientos provenientes de la cadena volcánica en el sur y la sierra de Chuacús. Otra cuenca de importancia es el Río Chixoy o Río Negro, el cual se extiende en un área de 2,876 km² (36.48% del área) encontrándose en la parte noroeste del área del Altiplano Central. Éste recibe agua de riachuelos y ríos de la Sierra de los Cuchumatanes y Sierra de Chuacús provenientes de bosques de pino-encino y nubosos (CEA 2010).

En la parte sur, entra el río Madre Vieja, abarcando 210 km² (2.66%) del Altiplano Central; el Río Coyolate, con 620 km² (7.87%) y el Río Achiguate, con 458 km² (5.81%) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuencas hidrográficas de las de las vertientes ubicadas dentro del Altiplano Central de Guatemala. Se encuentran ocho cuencas hidrográficas, en las tres vertientes que ocupan el territorio nacional.

Vertiente	Cuenca hidrográfica	Extensión (km ²)	% del territorio del Altiplano Central
Vertiente del Caribe	Río Motagua	3,497	45.3
	Río Polochic	123	1.6
Vertiente Golfo de México	Río Negro	2, 876	36.5
Vertiente del Pacífico	Lago Atitlán	12	0.1
	Río Achiguate	458	5.8
	Río Coyolate	620	7.9
	Río Madre Vieja	209	2.7
	Río María Linda	86	1.1
Total		7,882	100

Fuente: CEA, 2010

Es necesario mencionar la ubicación de los cuerpos de agua lénticos en el área, siendo estos la Laguna Lemoa, Lago Atitlán, Laguna Chichoy y la hidroeléctrica de Chixoy. La primera (Laguna Lemoa) tiene una extensión de 0.225 km² y la represa del Chixoy tiene un área de 13.79 km² (CEA 2010).

La fauna presente en la región del Altiplano Central, se compone de:

- Alrededor de 40 especies de anfibios, 6 familias y 18 géneros. El 38.1% de estas especies son endémicas de Guatemala (CEA 2010).
- Aproximadamente 94 especies de reptiles, 58 de las especies son serpientes, 7 endémicas; encontrándose 6 familias y 37 géneros. El 55% de todas las especies de serpientes reportadas para Guatemala se encuentra presente en el altiplano central. Alrededor de 36 especies son lagartijas, 8 endémicas; encontrándose 9 familias y 13 géneros. El 38% de las especies reportadas para Guatemala se encuentran en el Altiplano Central. (CEA 2010)
- Entre 39 - 236 especies de aves, de las cuales 29 % son migratorias (CEA 2010).
- Cerca de 110 especies de mamíferos, siendo 11 órdenes, 25 familias y 74 géneros. El 62% de estas especies se encuentran bajo criterio de conservación según el CONAP, UICN o CITES (CEA 2010).

a. Baja Verapaz.

1) Santa Cruz, El Chol: El Chol es la cabecera municipal del municipio de Santa Cruz el Chol, Baja Verapaz. La extensión del municipio es de 140 km² y se ubica en las coordenadas 14°57'40" de latitud y 90°29'16" de longitud. El casco urbano está a una altura de 1,008.73 m SNM y la cumbre de El Chol está a 2,000 m SNM. Al norte de Santa Cruz está Rabinal; al sur se encuentra San Raymundo (Guatemala), al este la cabecera departamental Salamá y Chuarrancho y al oeste Granados (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

En cuanto a la hidrografía, el municipio de Santa Cruz está irrigado por diez ríos y cuenta con 25 quebradas; debido a los vientos alizos del noreste y sudeste los regímenes de lluvia pueden variar. Los diez ríos anteriormente mencionados son, La Virgen, Los Gavilanes, Agua Caliente, El Chol, Chiquito, San Pedro, La Vega, San Antonio, Motagua y Suchicul (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

Los nacimientos de estos ríos no son únicos y los niveles de los mismos varían según la temporada, ya que el caudal se duplica entre la temporada lluviosa y la seca. Es

posible delimitar seis cuencas hidrográficas, siendo la más productiva la del noreste del municipio que alimenta a los nacimientos del sistema de distribución de agua de la Municipalidad (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

El municipio de Santa Cruz El Chol es parte de la cordillera central y su suelo está compuesto por roca plutónica, sedimentaria (cal) y metamórfica (por la presencia de esquistos). El subsuelo contiene grandes cantidades de rocas metamórficas. Los suelos son poco profundos y en la superficie tienen una textura franco arenosa fina, lo que indica un drenaje interno rápido, y ésta tiene una profundidad de unos 10 cm. Los subsuelos son de textura franco arcillosa, gravosa arcillosa, lo que hace el drenaje más lento, su profundidad es de unos 25 cm. En general, los suelos son ácidos, con un pH de 5. En la zona norte templada con bosques de pino, se encuentran pH más ácidos de 4.7 y en la zona central donde el pino es menos denso, se tiene un pH de 5.5, finalmente en el sur donde hay pocos pinos, el pH es neutro (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

Se encuentran tres unidades bioclimáticas diferentes:

- La primera entre 1000 y 1500 m SNM representando el 57% del territorio municipal. La mayor parte del suelo es de textura liviana y la pendiente es mayor del 45%. Hay un gran potencial para cultivos como café (*Coffea* spp.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.), pastos y bosques de coníferas o mixtos (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

- Bosque muy húmedo tropical montano bajo y bosque montano bajo húmedo: Localizado entre 1400 y 2000 m SMN, cubre 4% del territorio municipal. Los suelos son bien drenados así como profundos y de color grisáceo. Las pendientes están entre el 32 y el 45%. Tiene potencial para el cultivo de café (*Coffea* spp.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.), frutales, pastos y bosque de coníferas o mixto (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010, modificado por M. Dix).

- Bosque seco premontano y bosque seco tropical: Se encuentra entre 500 y 1200 m SNM y representa el 39% restante del municipio. Los suelos, aquí, son de textura liviana y media,

también se encuentran bien drenados y el color es grisáceo. La pendiente está normalmente entre el 12 y el 32%, aunque existen lugares donde alcanza el 45%. Puede ser utilizado para la siembra de tomate (*Solanum* spp), maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y otros (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

Según registros que datan de 1998, la temperatura media anual es de 22.8°C. Las fluctuaciones de temperatura en la región son grandes dada la diferencia de altura. La precipitación pluvial anual promedio es de 1500 mm (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

La economía de Santa Cruz El Chol está fundamentada en la agricultura, especialmente en la producción de café (*Coffea* spp.), el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maicillo (*Sorghum vulgare* L.). De forma similar, la fruticultura y el tomate (*Solanum* spp.) son importantes para los mercados externos, mientras que para consumo y venta internos, se tiene mango (*Mangifera indica* L.), naranja (*Citrus sinensis* L.), mandarina (*Citrus* spp.) y limón (*Citrus aurantifolia*).

Los cultivos de rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y el tamarindo (*Tamarindus indica* L.) se venden en el mercado interno y externo. Actualmente, se está iniciando la producción de elote dulce (*Zea mays* var. *saccharata*) y chile pimiento (*Capsicum* sp.) en los minirriegos (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010). Los insumos utilizados en la producción agrícola en la región como herbicidas son: el Gramoxone, Paraquat y Herbaxon; como insecticidas son: Thiodan, Folidol, Tamarón y Mirex; como fungicidas usan: Antracol, Ditane, Mancozeb y Ridomil; y abonos 15:15:15, 20-20-0, y urea (Municipalidad Santa Cruz El Chol 2010).

2). **Las Trojas, Salamá:** El municipio de Salamá se encuentra en el departamento de Baja Verapaz, lo limita al norte Purulhá y la Tinta, al sur, Morazán, Sanarate, El Chol y Chuarrancho, al este, San Jerónimo, San Cristóbal Acasaguastlán y en el oeste a San Miguel Chicaj y Santa Cruz El Chol. Se localiza a una altitud de 940.48 m SNM, ubicándose en las coordenadas 15°06'12" de latitud norte y 90°16'00" de longitud. La extensión territorial es de 776 km² (Municipalidad de Salamá 2010).

La precipitación anual promedio de la cabecera es de 750 mm, teniendo aproximadamente 103 días de lluvia; mientras que la temperatura media es de 20.9°C. La mayor parte de las tierras son quebradas con desniveles de hasta un 50%, ubicándose en total 40 quebradas en el municipio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Accidentes hidrográficos del municipio de Salamá. El área está compuesta por 40 quebradas, 46 ríos, 4 cascadas y 2 riachuelos.

Ríos	Aguacatillo, Agua Caliente, Cachil, Trapichito Vega Larga, Sinajá, El Cipresal, San Jerónimo, De la Montaña, San Isidro, Del Matasano, Salamá, Cementerio, Rincón, Quililá, De Llano Grande, Del Carrizal, Chupadero, Cuacusito, Panimá, Chuacús, Payaque, Chivac, Palo Verde, Quebrada Onda, El Chorro, El Naranjo, El Silencia, Espinera, Grandeo Motagua, Ixacyàn, La Concepción, La Estancia, Las Flautas, Las Golondrinas, Los Gavilanes, Cafetal, Camalote, Camote, Cimarròn, Concepción, Chicajá, Chilascò, Chixoy, Chipilìn y Los Magueyes.
Quebradas	El Obraje, El palmar, El rincón, El Palmarciito, El Sitio, González, Grande, Honda, Ixcayán, Jutén Seca, Sant Tomás, Vainillas, Zapote, Zarcas, Zacualpa, Chilascò, Ram Tzul, El Biotopo, Del Ratòn, Del Valentòn, Del Zapotillo, De las Trojas, De las Vigas, De los Algodones, El Aguacate, El Jute, El Mango, La Cebadilla, La Danta, La Pastorìa, La Paz Chocojà, La Plazuela, Las Burras, Orotapa, Pacanì, Rancho Viejo, Rincón Grande, Postrate, San Ignacio y San José.
Cascadas	Zacualpa, Chilascò, Ram Tzul y El Biotopo.
Riachuelos	El Rosal y Maxaxá

Fuente: Municipalidad de Salamá 2010.

b. Agua Escondida, Tecpán, Chimaltenango. Con una extensión de 201 km², el municipio de Tecpán se encuentra en el departamento de Chimaltenango. Lo delimita al norte con Joyabaj (Quiché), al sur con Santa Cruz Balanyá y Patzún, al este con Santa Apolonia y Comalapa, y al oeste Chichicastenango (Quiché) San Andrés Semetabaj y San Antonio Palopó (Municipalidad de Tecpán 2010).

La hidrografía del municipio se ve compuesta por ríos poco caudalosos y unos temporales. El río Xayá rodea la cabecera municipal y tiene el nombre de Coyolate 45 km abajo. En general, la región cuenta con treinta ríos que abastecen de agua a los habitantes, entre los cuales está Agua Escondida, asimismo, se encuentran diez riachuelos en el lugar: Comalapa, Chicobox, Chichavac, Chuatzité, Chuguexá, Paley, Paquib, Paraxabaj, Xecoil y Xepac. Estas fuentes de agua son en su mayoría utilizadas para actividades agrícolas, cultivo de truchas en la laguna Chichoy, lavado de ropa y descargas de desechos sólidos (Municipalidad de Tecpán 2010).

Además, se encuentran las lagunas de Chichoy y de Chiquischoy al norte de Tecpán, las cuales aún preservan la flora y fauna original del lugar. En ésta se encuentran especies de ciprés (*Cupressus lucitanica*), pino (*Pinus maximinoii*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y *P. oocarpa*), *Abies guatemalensis* y otras (Mardoqueo 2004).

La geografía del municipio está atravesada por La Sierra Madre, generando las llamadas Montañas de Tecpán. Éstas son consideradas, según la legislación del país, Áreas Protegidas; ya que su flora es propulsora de la fauna silvestre y de la vida humana del lugar y municipios vecinos. Sus bosques son fuente de nacimientos de agua que se transporta a municipios bajos cercanos. Se encuentran ahí riachuelos y la Laguna Seca (Mardoqueo 2004).

Según la clasificación Holdridge, el área se encuentra en las zonas de vida: Bosque montano húmedo (2,600 – 3,000 m SNM) y bosque montano bajo húmedo (1,400 - 2,600 m SNM); Los bosques del lugar son de coníferas, pinos (*Pinus pseudostrobus* y *P. montezumae*), Cipreses (*Cupressus lusitanica*) y Quercus (*Quercus* spp.) entre otros, característicos de zonas frías (Municipalidad de Tecpán 2010).

La variedad topográfica de esta región es amplia, siendo la cabecera una planicie con algunos desniveles y niveles altos, el resto es más variado ya que hay aldeas, caseríos y parajes que se ubican entre pequeños valles, en las faldas de montañas, otras en las cimas de montañas o cerros o en el fondo de los barrancos. Las quebradas más conocidas son Xecoxol, San José, Zaculeu, El Horno, Los Laureles y Xepanil (Mardoqueo 2004).

c. Jocotenango, Sacatepéquez. Ubicado en la latitud 14°32'28'' y en la longitud 90°44'28'', el municipio de Jocotenango Sacatepéquez, se encuentra a una altura de 1530 m SNM y cuenta con una extensión territorial de 9 km². Está aledaño a San Pedro Sacatepéquez al norte, Antigua Guatemala al sur, Santa Catarina Barahona al oeste y al este Pastores, Sumpango y Santiago (Hernández 2004).

La hidrografía de Jocotenango cuenta con una red de riachuelos y un río principal, el Río Guacalate. Entre los riachuelos está El Hato, El Carnero, El Hormigón, El Cerezal, El Rejón, El Marcelino y El Palo de Jocote (Quiroa 2004). La geografía en general del municipio, es montañosa, con suelos y valles sin diferenciación. La temperatura promedio del lugar oscila entre los 15° C y los 23° C, con una precipitación pluvial anual de 1057 a 1580 mm y la humedad relativa es de 75% (León 2004).

Las zonas de vida de Jocotenango, según la clasificación Holdrige cuenta con un bosque húmedo montano bajo. Por el tipo de bosque se encuentran especies coníferas en su mayoría, así como encino (*Quercus* spp.), el cual es dominante y ciprés (*Cupressus lusitanica*). Por otro lado, la amplia explotación agrícola ha influido en el tipo de flora y fauna del municipio. Es posible encontrar cotuzas (*Dasyprocta punctata*), conejos

(*Sylvilagus floridanus*), tacuacines (*Didelphis marsupialis*), armadillos (*Dasyopus novemcinctus*), venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), taltuzas (*Geomyidae* spp.), coyotes (*Canis latrans*) colibrís (*Trochilinae*), codornices (*Coturnix* spp.) y gavilanes (*Accipiter* spp.) (Quiroa 2004).

Las erosiones severas que bajan por la cuenca del Río Guacalate y la quebrada La Ventanilla, dan origen a correntadas de lodo en el área, las cuales implican arrastres de laderas y un mal manejo de los suelos. Según el INE, los principales problemas de contaminación vienen dados por desechos sólidos, ruido, drenajes y erosión del suelo (INE 2006).

La principal fuente de trabajo es la agricultura, teniendo como eje principal de la economía el cultivo del café, le siguen el maíz, frijol, cítricos, papa y frutas (Hernandez 2004).

d. San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz. El municipio de San Cristóbal Verapaz se ubica en el departamento de Alta Verapaz, éste cuenta con una extensión territorial de 192 km² y se eleva a una altitud de 1,393 m SNM. Al norte el municipio está limitado por el municipio de Cobán, al sur y oeste por el departamento de El Quiché y al este por el municipio de Santa Cruz (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

La hidrgrafía del municipio cuenta con una variedad de ríos y riachuelos, manantiales, lagunas y lagunetas, pero la Laguna Chichoj es la más importante para el municipio. Ésta representa el 15.31% del área total del municipio, contando con un área de 29.09 km². Debido al mal manejo y uso se encuentra en mal estado, por ende el consumo humano de agua se ve limitado (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

Como principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, se encuentra el nacimiento del Río Chijuljá, es el principal cuerpo hidrográfico utilizado para abastecer al casco urbano del municipio. Otras fuentes de abastecimiento son: El

nacimiento del Río Paná (denominado Chijuljá u Ojo de agua), los nacimientos de Agua Bendita y Pampu. Estos últimos son utilizados únicamente para lavado ya que se encuentran piletas (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

Dentro del sistema hidrográfico, el río más importante es el Río Negro o Chixoy. Éste delimita los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché. Actualmente se encuentra establecida la Planta Hidroeléctrica Chixoy (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

En cuanto a la flora, el área utiliza mucho el recurso del bosque como principal fuente de energía. Los bosques ubicados se encuentran fragmentados, dentro de ellos se extraen además, especies de plantas medicinales y epífitas. En cuanto a la vegetación acuática presente en el área se encuentra tul (*Typha dominguensis*) en la laguna, el cual es utilizado con fines artesanales (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

La fauna del sitio presenta las especies de aves: Charas (*Cyanocorax melanocyneus*), chachalaca (*Ortalis vetula*) gavilanes (ej. *Accipiter striatus*), aguilillas (*Buteo* spp.), palomas (*Columba* spp) colibríes (*Amazilia cyanocephala*), carpinteros (*Centurus aurifrons* y *Melanerpes forficivorus*), trepatroncos (*Dendrocolaptes picummus puncticollis*), clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*), vireos (*Vireo* spp.), semilleros (ej. *Volatinia* sp.), tangaras (*Piranga* sp.) y oropéndolas (*Psarocolius w.wagleri*) y en el área de la laguna se encuentran zambullidores (Podicipedidae), cormoranes (*Phalacrocorax* spp.), garzas (*Egretta thula*) y patos (*Anatidae*), entre otros (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

Es importante denotar la diversidad de Chipés (*Dendroica* spp.), encontrándose alrededor de 24 especies entre éstos el chipé caridorado (*Dendroica chrysoparia*). También se ha descrito la presencia en los bosques de mamíferos menores como armadillos

(*Dasypus novemcinctus*), ardillas (*Sciurus* spp.), conejo (*Sylvilagus floridanus*), cotuza (*Dasyprocta punctata*) y tepezcuintle (*Agouti paca*). Las poblaciones de estos organismos han disminuido por acciones de caza y deforestación (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

De igual forma los peces nativos han desaparecido en la laguna, los cuales han sido desplazados por especies introducidas como guapote (*Cichlasoma managuense*), lobina (*Micropterus salmoides*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*.) (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

El municipio cuenta con una población de 50, 462 habitantes, en su mayoría de San Cristóbal Alta Verapaz, se dedican a la agricultura (66.5%). La producción principal es el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), pacaya (*Chamaedorea tepejilote* Liebm.), cardamomo (*Elettaria cardamomum*.), café (*Coffea* spp.), pimienta (*Piper* spp.) y aguacate (*Persea americana*) (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

Es válido hacer notar que ésta es también una zona industrial, el 11% de la población se dedica a ello. Por ejemplo, Calzado Cobán tiene su fábrica en el lugar, así como Calzado Luces del Norte que es industria de exportación (Municipalidad de San Cristóbal Verapaz 2010).

e. Chinique, Las Vigas, Quiché. Con una extensión de 41 km² el municipio de Chinique se encuentra a una altitud de 1196 m SNM. Al norte del mismo se encuentran San Andrés Sajcabaja y Santa Cruz del Quiché, al sur está Santo Tomás Chiche, al este se ubica Zacualpa y al oeste Santo Tomás Chiche (Municipalidad de Chinique 2010).

Dentro de la hidrografía del municipio, se encuentran los ríos: Cacabal, Camacutz, Cojoztz, Cucabaj, El Durazno, El Madrón, Pactze, Sacaj, Tapesquillo, Tuluché, Tupilaj, Ximbaxuc (principal abastecedor de agua con un caudal de 1500 L/s) y Xola. Todos ellos pertenecen a la cuenca del Motagua (Municipalidad de Chinique 2010).

La mayor parte de los suelos están degradados debido a las malas prácticas de conservación de suelos, provocando una fuerte erosión. La topografía del municipio es bastante irregular debido a la ubicación geográfica del mismo, lo que hace que no sea apto para la mayoría de cultivos (Municipalidad de Chinique 2010).

El municipio es principalmente boscoso, en su mayoría con encinos (*Quercus* spp.), pino (*Pinus* spp.) y ciprés (*Cupressus* spp.); sin embargo existe un gran índice de deforestación por no tener un manejo de bosques adecuado. La flora está constituida por encinos (*Quercus* spp.), alisos (*Alnus* spp.), madrón, guayabo (*Psidium guajava*), y cítricos (*Citrus* spp.), entre otros (Municipalidad de Chinique 2010).

Dentro de la fauna nativa de la región se encuentra: conejos (*Sylvilagus floridanus*), tacuacines (*Didelphis marsupialis*), armadillos (*Dasypus novemcinctus*), mapaches (*Procyon lotor*), venados, serpientes y aves (Municipalidad de Chinique 2010).

La principal actividad económica de Chinique es la agricultura tradicional, como la siembra de maíz (*Zea mays* L.), papa (*Solanum tuberosum*), haba (*Vicia faba*), hortalizas y granos básicos. Además, la población se dedica a la crianza de ganado bovino, ovino y caprino, dándoles buenos resultados económicos (Municipalidad de Chinique 2010).

2. Macroinvertebrados acuáticos. Los macroinvertebrados acuáticos son muy estudiados en Norteamérica, Europa y Australia pero lamentablemente en Guatemala son

poco conocidos. Estos organismos forman parte importante de los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres, y por tanto, ahí radica su importancia en el uso de estudios en temas de agua.

De igual forma, algunos adultos de estos organismos representan una amenaza para los humanos, ya que tienen la capacidad de transmitir enfermedades (Dengue, malaria, paludismo, filariasis entre otras) como es el caso de los Simuliidae y Culicidae (Orden Diptera). A la vez, como se mencionó anteriormente, pueden ser utilizados como indicadores biológicos que permitan el monitoreo de contaminación o calidad del agua en sistemas acuáticos.

a. Generalidades. Los macroinvertebrados acuáticos se definen como organismos invertebrados de agua dulce que se pueden ver a simple vista y que cuentan con un tamaño mayor de 1 mm, esto puede diferir dependiendo del autor ya que algunos los clasifican con tamaños de 2 mm y otros con 0.5 mm (Soto 2008).

En Centroamérica se calcula que existen 6,000 especies de macroinvertebrados acuáticos, de éstas, el grupo de los insectos acuáticos es el más abundante en el territorio; calculándose once órdenes comunes en toda la región. De igual forma existe un alto porcentaje de especies nuevas o sin descripción para el área, ya que los estudios sobre éstos son escasos (Springer *et al.* 2010).

b. Desarrollo. Los insectos pueden presentar dos tipos de desarrollo (Cuadro 6), los cuales se describen a continuación:

-Hemimetábolos: Tienen un desarrollo gradual o simple, usualmente los estados inmaduros (larva o ninfa) suelen tener una apariencia de adulto. Estos se diferencian morfológicamente de los adultos por carecer de alas desarrolladas. Los órdenes y sus características suelen ser diversas, las ninfas o larvas suelen ser acuáticas mientras que los adultos en algunos casos pueden ser terrestres o acuáticos (Springer y Gutiérrez 2010).

-Holometábolos: Tienen un estadio de pupa que luego pasa a adultos (Springer y Gutiérrez 2010).

Cuadro 6. Clasificación de los órdenes con referencia a insectos acuáticos según el tipo de desarrollo

Tipo de desarrollo	Orden	Estadio	
		Pupa	Adulto
Hemimetábolos	Ephemeroptera	x	Terrestres/Aéreo
	Odonata	x	Terrestres
	Plecoptera	x	Terrestres
	Blattodea	x	Terrestres
	Hemiptera	x	Acuáticos
Holometábolos	Megaloptera	Terrestres	Terrestres/Aéreo
	Neuroptera	Terrestres	Terrestres/Aéreo
	Coleóptera	Terrestres	Acuáticos/Terrestres/Aéreo
	Trichoptera	Acuáticos	Terrestres/Aéreo
	Lepidoptera	Acuáticos	Terrestres/Aéreo
	Diptera	Acuáticos	Terrestres/Aéreo

Fuente: Springer 2010. (X = no existe)

c. Hábitats de macroinvertebrados acuáticos. Se distribuyen en diversos ambientes y pueden ocupar diversos hábitats de agua dulce, siendo éstos permanentes, temporales o artificiales (Ward 1992). Su distribución a través de los cuerpos acuáticos depende de factores fisicoquímicos (oxígeno, nutrientes, etc.) y ambientales. Otros agentes que influyen en su distribución son velocidad de flujo del agua, profundidad del medio, tipo de sustrato, competencia y depredación. Estos organismos pueden encontrarse, por ejemplo, en el fondo del agua, nadando en el agua, en la superficie del agua, sobre o bajo troncos, hojarasca, rocas o vegetación tanto emergente como sumergida, enterrado en lodo y arena (Soto 2008).

d. Grupos funcionales según tipo de alimentación. Los macroinvertebrados pueden ser clasificados basados en el comportamiento de captura del alimento, esto depende de la especialización de comportamiento y morfología de los organismos. La ventaja de esta categorización es que promueve una idea de la forma en que funcionan los ecosistemas y procesos de energía, por lo que se puede conocer respuestas previsibles de los insectos acuáticos a cambios en recursos alimenticios. Los organismos son categorizados según sus mecanismos de obtención de alimento, tamaño de partículas de la comida u otros aspectos pero no específicamente de lo que se están alimentando (Sanders 2004).

Las categorías de grupos funcionales se dividen en seis tipos:

- Raspadores/herbívoros: consumen algas y materiales asociados.
- Trituradores: Consumen hojarasca en descomposición u otro tipo de partícula gruesa de materia orgánica como madera.
- Colectores/recogedores: Colectan partículas finas de materia orgánica del fondo.
- Colectores/filtradores: Colectan partículas finas de materia orgánica de la columna de agua utilizando filtros.
- Depredadores: Se alimentan de consumidores de primer orden.
- Otros: Especies omnívoras o que no se clasifican dentro de las otras categorías (Sanders 2004).

3. Índices bióticos. Los insectos acuáticos, como organismos indicadores de calidad del agua, han sido utilizados desde hace mucho tiempo. Los primeros índices bióticos fueron utilizados a inicios del siglo XX en Alemania, para la determinación del grado de contaminación de los ríos por aguas negras por Kolkwitz & Marson entre los años de 1908-1909. La mayoría de los índices se basan en enfoques cualitativos donde se evalúan factores de presencia/ausencia, o son aproximaciones de abundancia relativa para algunos grupos de macroinvertebrados que tienen clasificaciones según su grado de tolerancia a la calidad ambiental donde se encuentran (Sermeño *et al.* 2010).

En el caso de América Latina, los estudios realizados con bioindicadores son relativamente recientes, Costa Rica ha sido el primer país que ha generado su propio índice biótico modificado. Éste se basó en el índice de Biological Monitoring Working Party (BMPW) creado en Inglaterra, por lo que recibe el nombre de Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR). Con el tiempo este índice ha sido base para su adaptación a otros países tropicales como son los casos de Colombia, Cuba y El Salvador (Sermeño *et al.*, 2010).

Los índices bióticos asumen que los sitios contaminados generalmente tienen menos especies que otros sitios en donde no hay tanto impacto, por lo tanto las especies presentes desaparecen de forma selectiva a lo largo de un gradiente de contaminación o perturbación, dependiendo de la susceptibilidad de los organismos a los contaminantes presentes (Sermeño *et. al.*, 2010).

Las ventajas del uso de macroinvertebrados como bioindicadores de perturbación radican en que son organismos muy abundantes que se distribuyen en diferentes nichos, lo cual facilita su colecta. De igual forma su identificación es relativamente fácil en comparación con otros organismos indicadores, pueden ser vistos a simple vista y pueden ser criados en laboratorios. Además, cuentan con diversidad en sus grados de tolerancia

ante factores contaminantes, lo que permite conocer el estado de la salud del cuerpo acuático (Sermeño *et al.* 2010).

a. Índice de monitoreo biológico del grupo trabajador modificado para Costa Rica (BMWP-CR). El índice impone diversas valoraciones a las diferentes familias de macroinvertebrados, basándose en el grado de sensibilidad a la contaminación. Para ello asigna únicamente valores a las familias de macroinvertebrados, por lo que no se basa tanto en la cantidad de individuos, sino en las familias o géneros presentes (Mafla, 2005).

Para el cálculo del índice es necesaria la identificación de los organismos a nivel de familia. Seguidamente se le asigna la valoración de tolerancia propuesta por el BMWP-CR a cada familia presente, sin tomar en cuenta la cantidad de individuos. Por último, se suman los puntajes de las familias y se ubica dentro de las categorías generadas por el índice para determinar el nivel de calidad del agua (Cuadro 7), entre más bajo sea el puntaje mayor es la contaminación (Springer 2007).

$$\text{BMWP-CR} = \text{Valor Familia 1} + \text{Valor Familia 2} \dots + N$$

Cuadro 7. Niveles de calidad del agua según el índice Índice de monitoreo biológico del grupo trabajador modificado para Costa Rica (BMWP-CR). El Índice categoriza los niveles de contaminación basado en el número de familias presentes en el área, divide en seis niveles la calidad del agua.

BMWP-CR	Nivel de calidad
>120	Aguas de calidad excelente
101 - 120	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alterada de manera sensible
61-100	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
36 -60	Aguas de calidad mala, contaminadas
16 -35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas
< 15	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas

Fuente: (Springer 2010)

b. Pollution Tolerance Index (PTI). Este índice fue creado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA; Environmental Protection Agency) (EPA, 1997). Se basa, de igual forma que el BMWP-CR, en organismos indicadores, los cuales tienen ciertos niveles de tolerancia ante la perturbación de los sistemas acuáticos. La ventaja que presenta su uso es que provee resultados rápidos, que permiten no sólo conocer la calidad del agua pero de igual forma generar información base.

Para calcular el índice es necesario primero identificar a los organismos a nivel de orden, en este caso sí se toma en cuenta la cantidad de organismos presentes en la muestra. El PTI divide en cuatro grupos de tolerancia a los organismos (Cuadro 8), si la valoración del grupo es alta, significa que es un grupo con alta tolerancia a la perturbación.

El primer grupo clasifica a los organismos intolerantes (susceptibles) (Grupo I), el segundo grupo (Grupo II) organismos moderadamente intolerantes o moderadamente susceptibles. El tercer grupo (Grupo III) anida a organismos bastantes tolerantes, mientras que la cuarta agrupación contiene a los organismos muy tolerantes a la perturbación del sistema hídrico.

La forma de cálculo del índice se hace sumando el número de individuos presentes por cada grupo (1 de los 4 cuatro grupos propuestos por el PTI) de cada muestra. Dependiendo del grupo, se realiza una multiplicación, por ejemplo si el grupo es el I, la sumatoria de individuos de todo el grupo se multiplica por cuatro; si el grupo es II este se multiplicará por 3.

De esta forma:

$$\Sigma \text{ No individuos del grupo I } \underline{\hspace{2cm}} \times 4 = m1$$

$$\Sigma \text{ No. Individuos del grupo II } \underline{\hspace{2cm}} \times 3 = m2$$

$$\Sigma \text{ No. Individuos del grupo III } \underline{\hspace{2cm}} \times 2 = m3$$

$$\Sigma \text{ No. Individuos del grupo IV } \underline{\hspace{2cm}} \times 1 = m4$$

El valor final del PTI será la sumatoria de todas las multiplicaciones, de esta forma:

$$\mathbf{PTI} = m1 + m2 + m3 + m4$$

Por último el índice categoriza los resultados en niveles de perturbación del agua, dividiendo en cuatro categorías de calidad, basado en el número de órdenes presentes para un área y su tolerancia a la perturbación (Cuadro 8).

Cuadro 8. Niveles de calidad del agua según el índice de tolerancia a la contaminación (PTI)

Valor PTI	Nivel de Calidad
>23	Excelente
17-22	Muy buena
11-16	Regular
10>	Pobre

c. **Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en el Salvador (ISV-CR):** Este índice se basa en el índice de Hilsenhoff (Springer, 2010), el cual clasifica a los macroinvertebrados según valores de tolerancia, que indican el grado de sensibilidad a contaminación del agua. Para generar los puntajes de tolerancia de los organismos, el índice se basó en la categorización utilizada por el índice BMWP-CR y la adaptó a la realidad del país.

El ISV-CR promedia los puntajes de tolerancia dados para los grupos taxonómicos que se ubican en un sitio de muestreo. Es ponderado por la abundancia relativa, es decir, que se toma en cuenta el número de organismos presentes en la muestra. El cálculo del índice se hace realizando un promedio ponderado de la abundancia relativa donde el peso de cada grupo taxonómico (familia), viene dado por el puntaje de tolerancia dado por el índice (cuadro 9). El valor final del índice se ubica dentro de los rangos de categorías que el índice propone para niveles de contaminación del agua. Un valor bajo indica baja tolerancia, lo que indica buena calidad.

$$(\text{Abundancia} \times \text{Grado de tolerancia de la familia}) / \text{Abundancia total} = x_1$$

$$\mathbf{IBF-SV} = \sum (x_1 + x_2 \dots x_n)$$

Se utilizó el índice de Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR), Pollution Tolerance Index (PTI), Índice de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera/ Chironomidae y el Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en el Salvador (ISV-CR) para la determinación de perturbación en los cuerpos hidrográficos ubicados dentro del área del Altiplano Central.

Cuadro 9. Niveles de tolerancia de los macroinvertebrados, según tres de los Índices bióticos utilizados en el estudio en el Altiplano Central.

Orden	Familia	Tolerancia BMWP-CR	Tolerancia PTI	Tolerancia IBF-SV
Diptera	Culicidae	2	-	10
	Sciomyzidae	4	-	-
	Chironomidae	2	3	8
	Tipulidae	4	2	5
	Tendipendidae	-	-	-
	Simuliidae	4	3	6
Trichoptera	Hydropsychidae	5	1	5
	Limnephilidae	8	1	-
Ephemeroptera	Baetidae	5	1	6
	Heptageniidae	10	1	3
Hemiptera	Veliidae	-	-	5
	Gerridae	-	-	6
	Corixidae	4	1	5
	Belostomatidae	4	-	7
	Naucoridae	4	-	6
	Macroveliidae	-	-	-
	Noctonectidae	-	-	-
Coleoptera	Dysticidae	4	1	7
	Limnichidae	5	2	5
	Elmidae	-	2	4
Odonata	Coenagrionidae	4	2	9
	Aeschnidae	8	-	4
Amphipoda	Gammaridae	7	-	5
Decapoda	-	5	-	6
Ostracoda	-	5	4	-
Acari	Hydracarina	4	2	5
Gastropoda	Lymnaeidae	3	3	-
	Unionidae	-	-	-
Annelidae	Hirudinea	3	1	6
Plecoptera	Perlidae	10	1	2

Fuente: Elaboración propia

d. Índice de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera/ Chironomidae (EPT/C). El Índice biológico utiliza tres órdenes de macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua, éstas son: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera; además utiliza una familia del orden Díptera (Chironomidae). El índice se basa en la sensibilidad de tales organismos ante la perturbación, los tres primeros órdenes mencionados, son muy sensibles a los cambios, mientras que la familia Chironomidae es tolerante. Para su cálculo se debe sumar los individuos pertenecientes a los grupos Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera y dividirlo dentro de la cantidad total de individuos presentes de grupo Chironomidae (Barbour *et al.* 1999). En caso que no se encuentre individuos de la familia Chironomidae, se asigna el valor 1 para ésta; $C = 1$.

$$EPT = \frac{\sum \text{Ephemeroptera} + \sum \text{Plecoptera} + \sum \text{Trichoptera}}{\sum \text{Chironomidae}}$$

Por último, el índice se ubica dentro de la categorización de calidad del agua para el Altiplano Central (Cuadro 10).

Cuadro 10. Niveles de tolerancia de los macroinvertebrados, según el índice EPT para el Altiplano Central.

Calidad del agua	Rango EPT/C
Excelente	10.76 - 13.43 ó >13.43
Buena	8.07 – 10.75
Buena-Regular	5.38 – 8.06
Regular	2.69 – 5.37
Pobre	0 - 2.68

Fuente: Elaboración propia. Categorías adaptadas al Altiplano Central.

4. Parámetros fisicoquímicos para evaluación de calidad de agua. Actualmente en Guatemala se cuenta con límites establecidos para concentraciones químicas en el agua establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), estos fueron revisados por la Comisión del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en 2009; pero siguen pendientes de aprobación. COGUANOR propone parámetros límites para el caso de agua potable para consumo humano; mientras que organizaciones como la EPA y OMS establecen parámetros para la vida acuática.

a. Fosfatos. Los fosfatos se encuentran en pequeñas cantidades en aguas naturales en sitios de suelos volcánicos, si se encuentran en concentraciones elevadas, esto indica la intervención humana liberando con mayor frecuencia las descargas fecales, detergentes con aditivos fosfatos y productos agrícolas como fertilizantes a las aguas. El problema con el exceso de fosfatos en cuerpos naturales de agua es que puede implicar la iniciación de los procesos de eutroficación (Rojas 2009).

El fosfato es esencial para el crecimiento de plantas y reacciones metabólicas tanto en plantas como en animales. Éste es utilizado por las algas y plantas acuáticas únicamente en su forma libre y no cuando se encuentra unido al suelo, por tanto, es un factor limitante para el crecimiento de plantas y organismos fotosintéticos del sistema acuífero (Calderon 2009).

Según parámetros de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el límite máximo permisible para agua potable es de 1.3 mg/l y según la Environmental Protection Agency (EPA) el límite máximo permisible para la vida acuática es menor de 0.10mg/l.

b. Sulfatos. Los sulfatos se encuentran en pequeñas cantidades en aguas termales, éstos provienen principalmente de fuentes como depósitos de azufre comúnmente hallados en áreas con actividad volcánica o de rocas cretáceas. Los sulfatos pueden alcanzar naturalmente los efluentes por acciones de erosión del suelo, en un estado de intervención humana ocurre un exceso de la concentración ya sea por la descarga de aguas provenientes de minas o industriales que oxidan pirita o utilizan ácido sulfúrico (Rojas 2009), o por la adición de fertilizantes con contenido de sulfato de amonio. Actualmente COGUANOR propone como límite máximo aceptable y permisible para agua potable de 100 mg/l y 250 mg/l respectivamente, este último concuerda con los parámetros estándar propuestos por la EPA pero la OMS propone un valor que no rebase los 400 mg/l.

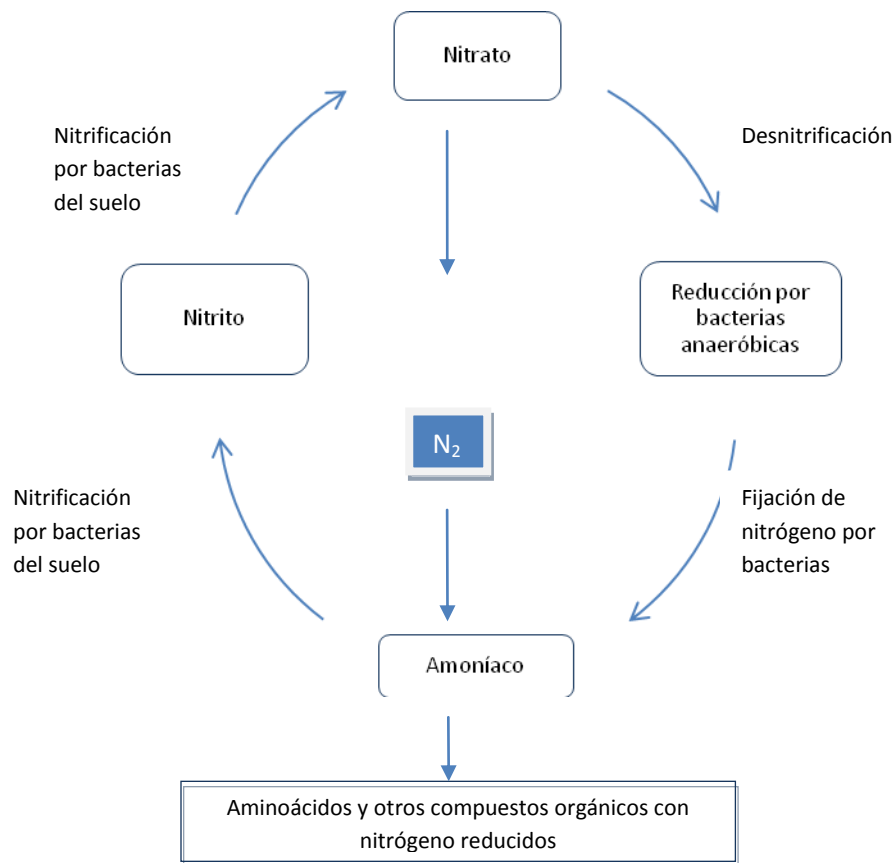
c. Nitratos. Los nitratos son compuestos que naturalmente se encuentran en ecosistemas acuáticos por la erosión de depósitos naturales, descomposición de materia orgánica, procesos de nitrificación (conversión del nitrito a nitrato) generada por las bacterias de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Simultáneamente puede existir la alimentación de los cuerpos de agua por actividades antrópicas, como la descarga de tanques sépticos o el escurrimiento de aguas de uso agrícola resultantes del uso excesivo de fertilizantes, fijación de nitrógeno por cianobacterias, contaminación del aire con óxidos de nitrógeno y absorción en agua de lluvia (Rojas 2009).

Como parámetro de calidad de agua potable, tanto COGUANOR como la EPA toman como límite máximo permisible 10 mg/l de concentración y la OMS 5 mg/l, un valor mayor a esto puede implicar problemas de salud en infantes menores de seis meses ocasionando problemas de respiración y hasta la muerte.

d. Nitritos. Las principales fuentes de nitritos en aguas naturales provienen de la erosión de depósitos naturales y del amonio. Este último es convertido a partir del nitrógeno el cuál es tomado por los animales y éste lo depositan al sustrato como urea. A la vez el nitrógeno es transformado por bacterias del género *Nitrosomonas*, por medio de la

nitritificación en donde se lleva a cabo la oxidación, consumiendo así el oxígeno disuelto en el agua (Fig. 2) (Rojas 2009).

Figura 2. Ciclo del Nitrógeno (Lehninger 2005)



De igual forma, el escurrimiento de aguas agrícolas, aguas servidas, aguas negras y la infiltración de tanques sépticos son las principales fuentes del aumento de las concentraciones de nitritos y nitratos. Las altas cantidades de nitritos pueden indicar un estado de autodepuración de un cuerpo acuático y a la vez permite entender la periodicidad con que existen descargas a estos. Los problemas generados con la salud en humanos es igual que los nitratos ya que en infantes menores de seis meses ocasionando problemas de respiración y hasta la muerte (Rojas 2009). En cuanto a los parámetros permisibles de nitratos para agua potable, COGUANOR toma como límite máximo permisible 1 mg/l mientras que la EPA y OMS 0.005–0.01mg/l.

e. Turbidez. Es una medida que denota la reducción de transparencia; evalúa la cantidad de luz dispersada y absorbida por el agua debido a materia suspendida, es decir, que demuestra la carencia de claridad. Esto a la vez indica en ríos el nivel de erosión de los suelos. Las partículas en suspensión pueden provenir de suelos arcillosos, material orgánico o plancton, las cuales se mantienen de esta forma por su naturaleza coloidal (Rojas 2009).

Este factor es tomado en cuenta al momento de realizar los análisis de agua, ya que la turbidez puede afectar a organismos dentro de los cuerpos acuáticos. Al interferir con la penetración de la luz en el agua, se reduce de la tasa de producción dentro del ecosistema acuático y por tanto reduce la disponibilidad de alimento para los organismos consumidores (Rojas 2009). De igual forma, el exceso de turbidez por partículas en suspensión puede afectar el funcionamiento de las branquias y mecanismos de alimentación. Es por ello que se mide la turbidez en ríos, ya que indica el nivel de erosión.

Para COGUANOR los límites máximos aceptables y permisibles son de 5 FTU y 15 FTU respectivamente. Usualmente los altos niveles de turbidez están asociados con niveles altos de microorganismos que ocasionan enfermedades, tales como los virus, bacterias o parásitos.

f. Color. El color del agua puede ser verdadero o dado por sustancias que se encuentran disueltas. Naturalmente, el agua puede contener color por materiales vegetales en descomposición o, en algunos casos, por minerales disueltos como el hierro y manganeso (Rojas 2009). Cuando existe intervención humana, la coloración suele ser muy distinta a su coloración natural, el vertimiento industrial es una de las principales fuentes de tales cambios.

La unidad de color internacionalmente utilizada es equivalente a una solución de cobalto que contenga 1mg de platino por litro de solución, esto se expresa en unidades de Pt/Co ya que a las soluciones de platino se les agrega una pequeña cantidad de cloruro de cobalto para intensificar el color y brillo de las soluciones (Rojas 2009). Para COGUANOR el límite máximo aceptable es de 5 U PtCo y el permisible y de 35 U PtCo.

g. Potencial de hidrógeno (pH). El potencial de hidrógeno es una medida utilizada para determinar la actividad del ion de hidrógeno, en el caso de aguas naturales éste refleja el equilibrio ácido-base de los cuerpos acuáticos por compuestos disueltos, sales y gases (Rojas 2009). Para la mayoría de los organismos acuáticos el pH en que encuentran es de 5.6 a 8.5. Si el agua es muy ácida esto puede perjudicar a los organismos acuáticos, en especial a los invertebrados, anfibios, plantas y embriones de peces (Calderón 2009). Para COGUANOR el límite máximo permisible es de y 6.5-8.5, EPA propone un valor máximo de 6.5-8.5.

B. JUSTIFICACIÓN

La región del Altiplano Central de Guatemala corresponde a una de los últimos remanentes de bosques de pino-encino. Debido a la deforestación y contaminación de tal región, se han visto comprometidos recursos naturales vitales. El alto grado de deforestación, no sólo afecta el estado de erosión del suelo, pero acarrea una mayor problemática; la escasez de agua. Es necesario recaudar información actualizada que denote una línea base del estado del recurso para fomentar futuros proyectos o planes de manejo con visiones más sostenibles. Es a partir de esta perspectiva que nace esta propuesta.

Este estudio formula la inclusión de una herramienta poca utilizada en investigaciones realizadas hasta el momento en ecosistemas acuáticos en el país, siendo ésta, los macroinvertebrados como bioindicadores de perturbación. Existe escasa información sobre estos organismos y sus usos en las áreas de investigación con enfoque al recurso agua, ya que hasta el momento los estudios han sido con orientación a nivel de especies transmisoras de enfermedades, como los mosquitos.

Estos organismos promueven alentadoras ventajas a la hora de su utilización. Resultan ser instrumentos de bajo costo al momento de la recopilación de información tanto en campo como en su análisis en laboratorio, son de fácil uso por lo que pueden utilizarse en comunidades. De igual forma permiten entender a mayor profundidad las dinámicas dentro de los ecosistemas en estudio y, por ende, reflejan una visión más integradora y concreta del estado real del cuerpo en estudio.

Sin embargo, esta herramienta resulta más útil al momento de ser complementaria a otras metodologías previamente utilizadas en investigaciones. De esta cuenta el análisis químico es de sumo valor al momento de ejecutar estudios sobre el estado de cuerpos acuíferos, y por ende se incluye en este estudio.

C. OBJETIVOS

1. General:

El diagnóstico el estado actual de cuerpos hidrográficos seleccionados dentro del Altiplano Central, enfocándose primordialmente en áreas con remanentes de bosques mixtos de pino-encino, incluyendo los departamentos de Sacatepéquez, Chimaltenango, Quiché y las Verapaces.

2. Específicos:

- Determinación de los niveles de nutrientes presentes en los cuerpos acuíferos, utilizando espectrofotometría HACH.
- Validación del uso de macroinvertebrados como bioindicadores de posible perturbación en los sitios de muestreo.
- Identificación de las posibles fuentes principales de perturbación de los ecosistemas acuáticos que afectan la calidad del agua en los sitios de muestreo.
- Comprobación de la existencia de una correlación entre los niveles de nutrientes y los organismos macroinvertebrados presentes, en los sitios donde sea posible la colecta y evaluación de ambos.

D. HIPÓTESIS:

Ho. Los macroinvertebrados no representan un bioindicador útil para diagnosticar la condición ecológica de un cuerpo de agua.

Ha. Los macroinvertebrados representan un bioindicador útil para diagnosticar la condición ecológica de un cuerpo de agua.

II. MÉTODOS

A. Sitios de muestreo:

El enfoque de la investigación se dirige a las áreas de remanentes de bosques, ubicados en su mayoría en la franja del Altiplano Central del territorio nacional guatemalteco. La región abarca varios departamentos que cuentan con diferencias en su cobertura forestal; los puntos de muestreo se delimitaron dentro de la región de remanentes de este tipo de bosque, donde existe poca información biológica registrada. Para determinar los sitios de primacía, se tomó como base el informe de “Análisis espacial y generación de capas de información para el análisis de vacíos del sistema guatemalteco de áreas protegidas, Fase II”, elaborado por The Nature Conservancy en el año 2007.

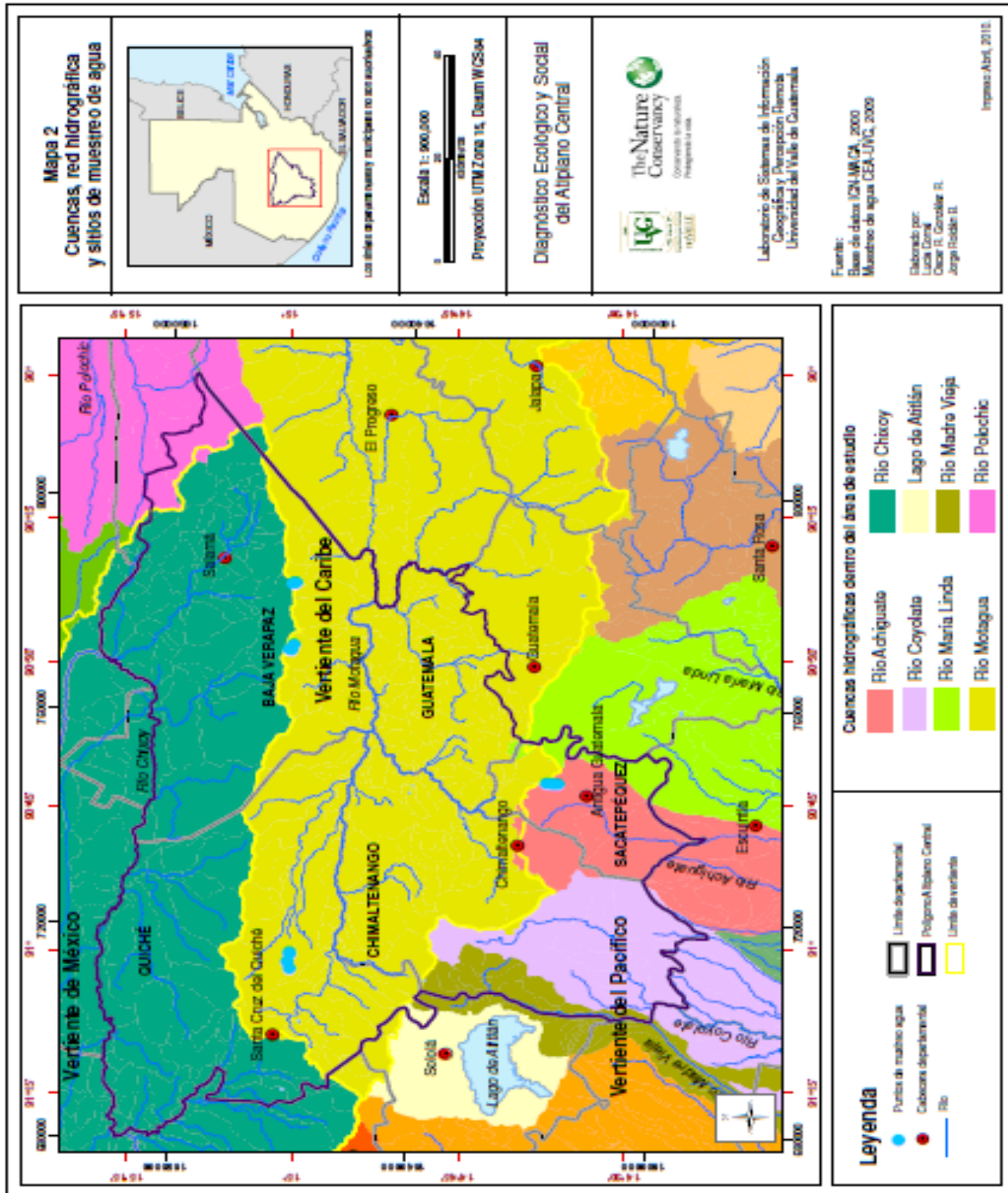
Finalmente, se eligieron cinco departamentos prioritarios para el levantamiento de información, siendo estos: Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Sacatepéquez y Quiché. Los puntos seleccionados para el muestreo se ubican en la Figura 2 como puntos con coloración celeste, en total son 34 sitios en toda el área. Dentro de estos puntos se estudiaron 3 nacimientos, 3 lagunas, 18 riachuelos y 8 ríos grandes (Cuadro 12) A continuación se presentan en el cuadro 11 los puntos de muestreo por departamento y sus coordenadas de ubicación, el cuadro 12 demuestra la clasificación de los sitios por tipo de cuerpo y por último de la figura 4 a la 13 se encuentran las fotografías de los sitios donde se muestreó.

Cuadro 11. Coordenadas de los puntos de muestreo en el Altiplano Central. El área se dividió en 34 sitios de colecta.

Nombre del sitio de muestreo	Ubicación Municipio/Dept.	Fecha de colecta (d/m/a)	Altitud (m SNM)	Puntos de muestreo	Coordenadas de ubicación	
Agua Escondida	Tecpán, Chimaltenango	26/07/09	2660	M1. Nacimiento	16°3710N	07°09200E
		26/07/09	2670	M2. Arroyo	16°3710 N	07°093504E
		26/07/09	2675	M3. Estanque	16°3710N	07°09500E
		26/07/09	2620	M4. Laguna Chichoy	16°3685 N	07°09800E
		26/07/09	2510	M5. Río Motagua	16°3800N	07°1125E
Finca Filadelfia	Jocotenango, Sacatepéquez	15/08/09	2413	M6. Charco	14°616267N	90°71169W
		15/08/09	2073	M7. Riachuelo 1	16°16474N	07°46467 E
		15/08/09	1951	M8. Riachuelo 1 abajo	14°60100N	90°71379 W
		15/08/09	1951	M9. Riachuelo 2	14°60100N	90°71379 W
		15/08/09	2149	M10. Tanque	16°15781N	07°46408 E
		15/08/09	-	M11. Riachuelo 3	-	-
Las Vigas	Chinique, Quiché	29/08/09	1920	M12. Las Vigas.	16°59208N	07°12651E
		29/08/09	1917	M13. Río Cucabaj	16°58817N	07°12417E
		30/08/09	1967	M14. Chinique, Quiché	16°5592.3N	07°11594E
		30/08/09	1967	M15. Nacimiento	16°59995N	07°12657 E
		29/08/09	-	M16. Laguna Lemoa	15.052404N	-91.22882W
		30/08/09	1954	M17. Lugar de Ranas	16°5987.3N	07°114101E
		30/08/09	1959	M18. Pantano de Escuela	16°59927N	07°11419E
El Chol	Santa Cruz, Baja Verapaz	11/08/09	1560	M19. Quebrada	-	-
		11/08/09	1620	M20. Riachuelo arriba de quebrada	-	-
		11/08/09	1290	M21. El Astillero	15°3433N	90°30468W
		11/08/09	1375	M22. Quebrada casa de teja	-	-
		11/08/09	860	M23. Río Agua Caliente	16°52400 N	07°68800E
	Granados, Baja Verapaz	11/08/09	700	M24. Río Concuca		
		25/04/09	1290	M29. El Astillero	15°3433N	90°30468W
Santa Isabel, Salamá	Salamá, Baja Verapaz	9/05/09	1855	M25. Nacimiento	16°60370N	07°84390E
		10/05/09	1790	M26. Riachuelo 2	16°60098N	07°784186E
		10/05/09	1481	M27. Río en camino	16°66484N	07°877686E
		10/05/09	962	M28. Río Salamá	16°06775N	07°89292E
San Cristóbal	San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz	25/04/09	300	M30. Agua de turbinas	15°165710N	90°293052W
		25/04/09	1200	M31. Riachuelo 2	15°19126N	90°293052W
		25/04/09	300	M32. Bocatoma 5 m.	15°1633N	90°29394W
		25/04/09	300	M33. Bocatoma 10m.	16°215167N	90°275661W
		25/04/09	1,393	M34. Laguna Chichoj	15° 21' 30"N	90° 28' 40"W

Los puntos muestreados de cada área, cuenta con diversos tipos de cuerpos hidrográficos. Coordenadas UTM (North-West) Coordenadas GTM (East-North).

Figura 3. Mapa de ubicación de cuencas hidrográficas y sitios de muestreo en los departamentos seleccionados en el Altiplano Central. Los puntos color celeste representan los sitios de colecta de las muestras de agua en todo el territorio del Altiplano Central de Guatemala.



Fuente: CEA, 2010.

Cuadro 12. Clasificación de los tipos de cuerpos hidrógraficos seleccionados para análisis, ubicados en el área de Altiplano Central.

Tipo de cuerpo hidrográfico	Muestras	No. de sitios
Nacimientos	M1 , M15 y M25	3
Lagunas	M4, M34 y M16	3
Charcos	M6 y M12	2
Riachuelos	M2, M3,M5,M7, M8, M9, M10, M11, M14, M17, M18, M19, M20, M21, M22, M26, M29 y M31	18
Ríos Grandes	M13, M23, M24, M27, M28, M30, M32, M33	8
Total		34

El Cuadro 12 representa los tipos de cuerpos hidrográficos presentes en la región del Altiplano Central, mayoritariamente se estudió riachuelos, siendo estos 18 en toda el área. También las Figuras 4 a 13 demuestran algunos de los sitios estudiados en las áreas de Sacatepéquez, Chimaltenango, Quiché Alta y Baja Verapaz.

**Fig. 4. Muestra del Charco, M6.
Finca Filadelfia, Sacatepéquez**



**Fig. 5. Muestra del Tanque, M10.
Finca Filadelfia, Sacatepéquez**



**Fig. 6. Muestra de Riachuelo 2, M9.
Finca Filadelfia, Sacatepéquez**



**Fig. 7. Laguna Chichoy M4. Agua Escondida,
Tecpán, Chimaltenango**



**Fig. 8. Laguna Chichoj, muestra M34.
San Cristóbal, Alta Verapaz**



**Fig. 9. Rio Cucabaj, M13.
Chinique Las Vigas, Quiché**



**Fig. 10. Laguna Lemoa M16.
Santa Cruz, Quiché**



**Fig. 11. Quebrada casa de teja, M22.
El Chol , Baja Verapaz**



**Fig. 12. Río Agua Caliente M 23.
El Chol, Baja Verapaz**



**Fig. 13. Río Motagua, M24.
El Chol, Baja Verapaz**



B. Colecta de muestras.

Las colectas de agua para análisis químico y biológico se realizaron entre los meses de abril, mayo, julio y agosto del año 2009 (Ver cuadro 11). Por cada punto seleccionado se recolectó primero una muestra para análisis químico en frascos previamente lavados con 2% HCl, y dependiendo de las condiciones del sitio, luego se tomó una muestra de macroinvertebrados. La metodología para la colecta de cada tipo de muestra se detalla a continuación.

1. Muestras de agua para análisis fisicoquímico. Cada muestra recolectada se colocó en un recipiente plástico de 500 ml previamente lavado con ácido clorhídrico al 2%, con tapadera de rosca. En el campo los recipientes fueron lavados tres veces con agua de la muestra, previo a su colecta.

La colecta se realizó de forma manual a contracorriente y en aguas superficiales. Luego fueron rotuladas adecuadamente con un número y nombre de identificación, nombre del sitio de colecta y fecha. Para su conservación se colocaron en hielo (4° C) hasta arribar a los Laboratorios de Biología de la Universidad del Valle de Guatemala, donde fueron congeladas para su posterior análisis.

2. Macroinvertebrados. Para la colecta de macroinvertebrados primero se identificaron los posibles hábitats presentes en el área y se escogieron los puntos con mayor número de hábitats. La colecta requirió del uso de una red de mano en los puntos donde era posible su utilización. Se colocó una red en los puntos seleccionados río abajo, mientras se perturbaba el agua río arriba por medio de pataleo, durante tres minutos para la colectaba de macroinvertebrados. Además se realizó el mismo proceso por las orillas a contracorriente. Para los manantiales, solo se utilizó la red de mano para no perturbar los sedimentos.

El contenido de la red se lavó en un recipiente plástico de fondo claro donde se hizo la separación de los organismos con la ayuda de pinzas entomológicas. De igual forma se colectó directamente macroinvertebrados presentes en hojarasca, leños, rocas u otro tipo de superficie utilizando pinzas entomológicas y dedos. Los organismos colectados fueron colocados en frascos de vidrio de 4 onzas con tapadera de rosca. Los frascos fueron llenados con etanol al 95% y luego en el laboratorio fueron trasladados a etanol al 75% con 2% de glicerina para su preservación. Cada muestra se rotuló con el nombre del sitio de colecta, número de identificación y fecha. Para el transporte de las mismas, se colocaron dentro de una caja oscura para prevenir el contacto del sol y daños a los frascos.

3. Análisis.

a. Físicoquímico. Para la determinación de las concentraciones de nitratos, nitritos, orto-fosfatos, sulfatos, color y turbidez se utilizó: espectrofotómetro de luz DR 2000 HACH. Los métodos utilizados para el análisis de reactivos fueron: Diazotización para nitritos (NO_2), reducción de cadmio para nitratos (NO_3), ácido ascórbico para orto fosfatos (PO_4) y cloruro de bario para sulfatos (SO_4). De igual forma se midió turbidez en unidades FTU y el color (unidades PtCo). Para la medición del pH, se utilizó un potenciómetro. Los límites de detección de los métodos son: Nitrito (0 - 0.3mg/l); Nitrato (0 - 30mg/l); Sulfato (100 - 250 mg/l); Orto-fosfato (0 - 2.75 mg/l); color (0 - 550 PtCo) y turbidez (0 - 450 FTU) Todas las mediciones se llevaron en el Laboratorio de Biología de la Universidad del Valle de Guatemala.

Los datos obtenidos de los factores físicoquímicos fueron luego comparados con los parámetros permisibles para agua potable normados por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (EPA). Los valores permisibles son: Nitritos <1mg/l; Nitrato <10mg/l; Sulfato 100 - 250 mg/l; Orto-fosfato <0.10 mg/l; Color 5 - 35 PtCo; Turbidez 5 - 10FTU y pH 6.5-8.5.

b. Macroinvertebrados. La identificación y conteo de cada espécimen en las muestras fue realizada en el Laboratorio de Biología de la Universidad del Valle. Se requirió el uso de un estereoscopio como equipo para la visualización de los organismos. Para la identificación se manejó las claves de identificación de: “Freshwater invertebrates in the United States of America” de Pennak (1978) y “Guide to freshwater invertebrates of USA and Canada” de Merritt y Cumming (1996).

Luego de realizar la clasificación y conteo de los organismos se recurrió a los Índices Bióticos: Pollution Tolerance Index (PTI), Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR) y el Índice Biológico a nivel de familia de invertebrados acuáticos para el Salvador (IBF-SV) para determinar el estado de perturbación de los cuerpos acuáticos.

c. Correlación canónica. Para determinar la posible existencia de relaciones entre los macroinvertebrados y los factores fisicoquímicos del agua, se utilizó las correlaciones canónicas manejando el programa de Microsoft Excell. De igual forma se determinó posibles correlaciones entre las familias de macroinvertebrados presentes en la región de estudio, y correlaciones entre los factores fisicoquímicos del agua. Este tipo de análisis permite entender las dinámicas entre los factores evaluados, como los ciclos de nutrientes y cambios en las poblaciones de macroinvertebrados.

III. RESULTADOS

A. Factores fisicoquímicos.

El área de estudio se compone de cinco departamentos, de los cuales se tomaron 34 puntos en total para el muestreo. En cada punto se realizó análisis de: color, turbidez, pH, concentraciones de nitrito, nitrato, sulfato y orto-fosfato. Dentro de los resultados, resaltan las relativamente altas concentraciones de fosfato (máxima: 2.09 mg/l) en toda el área del Altiplano (Cuadro 13).

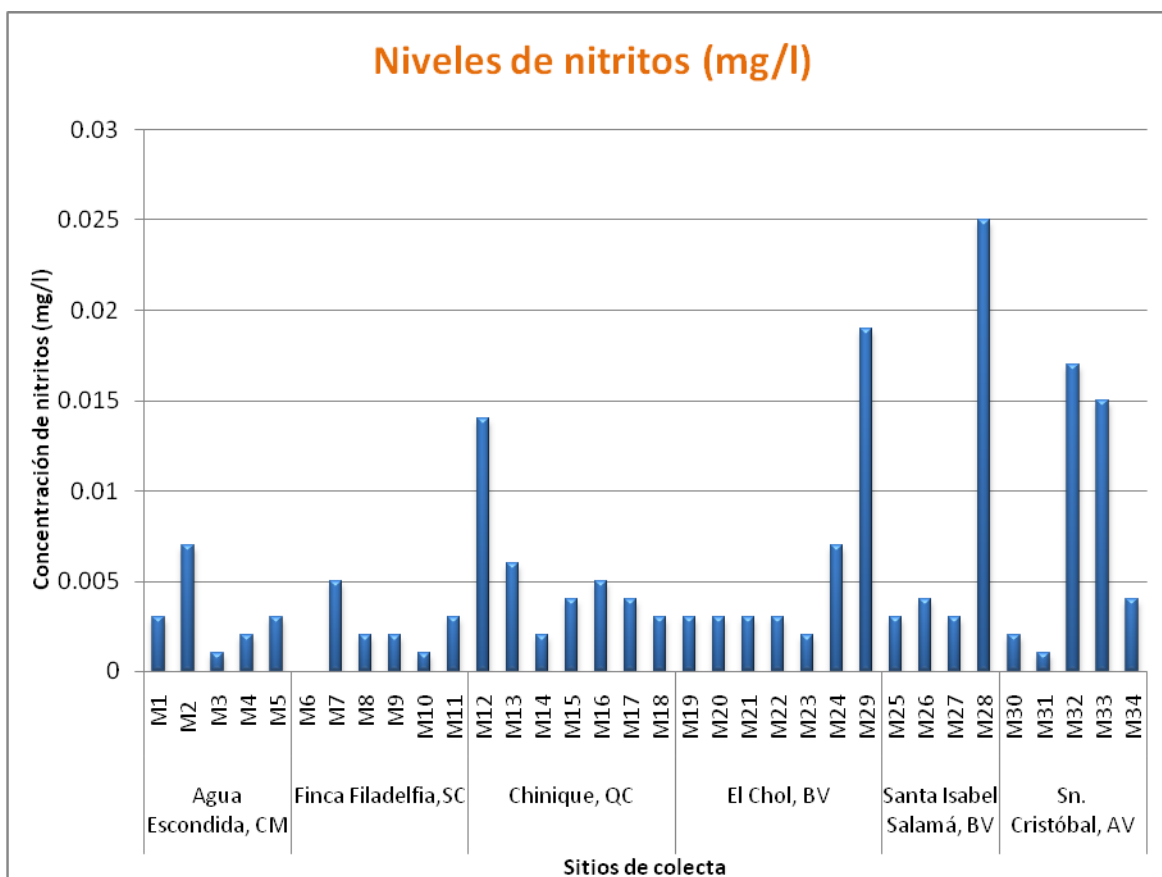
Los niveles altos de nitritos pueden indicar un estado de autodepuración y las dinámicas de descargas a éstos. En el caso del área del altiplano central, las concentraciones oscilan entre 0.01 – 0.025 mg/l. El punto con mayor concentración se encontró en Salamá (0.025mg/l), Río Salamá (M28) y el más bajo (0.001 mg/l) en Finca Filadelfia (Muestra del Tanque (M10)); En Agua Escondida, Chimaltenango (Muestra del Estanque (M3)), y San Cristóbal, Alta Verapaz (Muestra del Riachuelo 2 (M26)). En el área de Finca Filadelfia, Sacatepéquez se localizó la única muestra (Charco, M6) que se encuentra debajo del límite de detección del método (0 mg/L). El departamento de Alta Verapaz conjuga los sitios con las concentraciones más altas de nitritos; y las más bajas en Finca Filadelfia, Sacatepéquez (Figura 14). Hay que notar que el sitio del Astillero (M21 y M29) colectadas en las fechas de 11/08/09 y 25/08/09, El Chol, Baja Verapaz; disminuyó en concentración de 0.019 a 0.003 mg/l durante la época lluviosa.

**Cuadro 13. Calidad fisicoquímica de las muestras de agua según área de colecta en el
Altiplano Central en el año 2009**

Lugar	Muestra	Nitrito (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Orto- fosfato (mg/l)	Color (PtCo)	Turbide z (FTU)	pH
Límite COGUANOR y EPA		<1mg/l	<10mg/l	100 - 250 mg/l	<0.10 mg/l	5 - 35 PtCo	5 - 10 FTU	6.5- 8.5
Límite de detección del método		0 - 0.3 mg/l	0 - 30 mg/l	0 - 70 mg/l	0 - 2.75 mg/l	0 - 550 PtCo	0 - 450 FTU	
Agua Escondida Chichoy, Chimalte nango 07/09	*M1. Nacimiento	0.003	1.7	2	0.26	13	1	8.3
	M2. Arroyo	0.007	2.1	1	0.58	DLD	DLD	7.8
	*M3. Estanque	0.001	1.4	DLD	0.66	DLD	DLD	7.7
	M4. Laguna Chichoy	0.002	1.8	1	0.18	60	12	8.2
	*M5. Río Motagua	0.003	1.4	DLD	0.21	19	4	8.4
Finca Filadelfia, Sacatepé quez. 08/09	*M6. Charco	DLD	1.7	DLD	1.37	211	41	8
	M7. Riachuelo 1	0.005	0.9	DLD	0.6	35	2	7.8
	M8. Riachuelo 1 abajo	0.002	1	20	0.48	28	3	7.5
	M9. Riachuelo 2	0.002	1.1	40	1.32	26	4	7.3
	M10. Tanque	0.001	1.4	DLD	2.09	41	6	7.2
	*M11. Riachuelo 3	0.003	1.2	FLD	0.56	50	7	7.2
Chinique, Las Vigas, Quiché. 08/09	M12. Las Vigas.	0.014	1.8	6	1.87	151	29	6.6
	*M13. Río Cucabaj	0.006	DLD	3	0.87	149	26	6.7
	M14. Chinique, Quiché	0.002	1.8	1	2.05	14	5	6.8
	M15. Nacimiento	0.004	3.9	DLD	0.3	25	7	6.9
	M16. Laguna Lemoa	0.005	1.2	2	0.93	10	2	7.2
	M17. Lugar de Ranas	0.004	1.9	DLD	0.22	26	5	7.6
	*M18. Pantano de Escuela	0.003	2.2	DLD	0.3	61	11	8
	*M19. Quebrada	0.003	1	1	1.37	DLD	DLD	7.3
El Chol, Baja Verapaz. 08/09	M20. Riachuelo arriba quebrada	0.003	2.3	1	1.59	DLD	DLD	6.9
	M21. Río El Astillero	0.003	0.8	1	1.21	DLD	DLD	6.8
	*M22. Quebrada casa de teja	0.003	8.8	1	1.39	DLD	DLD	6.8
	M23. Agua Caliente	0.002	5	1	1.67	11	2	6.9
	Granados, Baja Verapaz 04/09	M24. Río Concua	0.007	0.5	3	1.51	217	38
	*M29. El Astillero	0.019	0.03	38	FLD	32	9	8.6
Santa Isabel, Salamá, Baja Verapaz. 05/09	M25. Nacimiento	0.003	2	6	0.01	4	DLD	7.2
	*M26. Riachuelo 2	0.004	1.6	1	0.07	7	1	6.6
	M27. Río en camino	0.003	3.4	8	0.09	105	21	6.6
	M28. Río Salamá	0.025	DLD	5	0.2	FLD	182	6.4
San Cristóbal, Alta Verapaz. 04/09	M30. Agua de turbinas	0.002	0.12	DLD	2.4	52	11	8.3
	M31. Riachuelo 2	0.001	0.04	15	1.93	30	6	8.1
	M32. Bocatoma 5 m.	0.017	0.12	54	1.28	30	8	10
	M33. Bocatoma 10m.	0.015	0.04	49	1.68	18	5	7.6
	M34. Laguna Chichoj	0.004	0.12	DLD	1.47	84	16	7.9

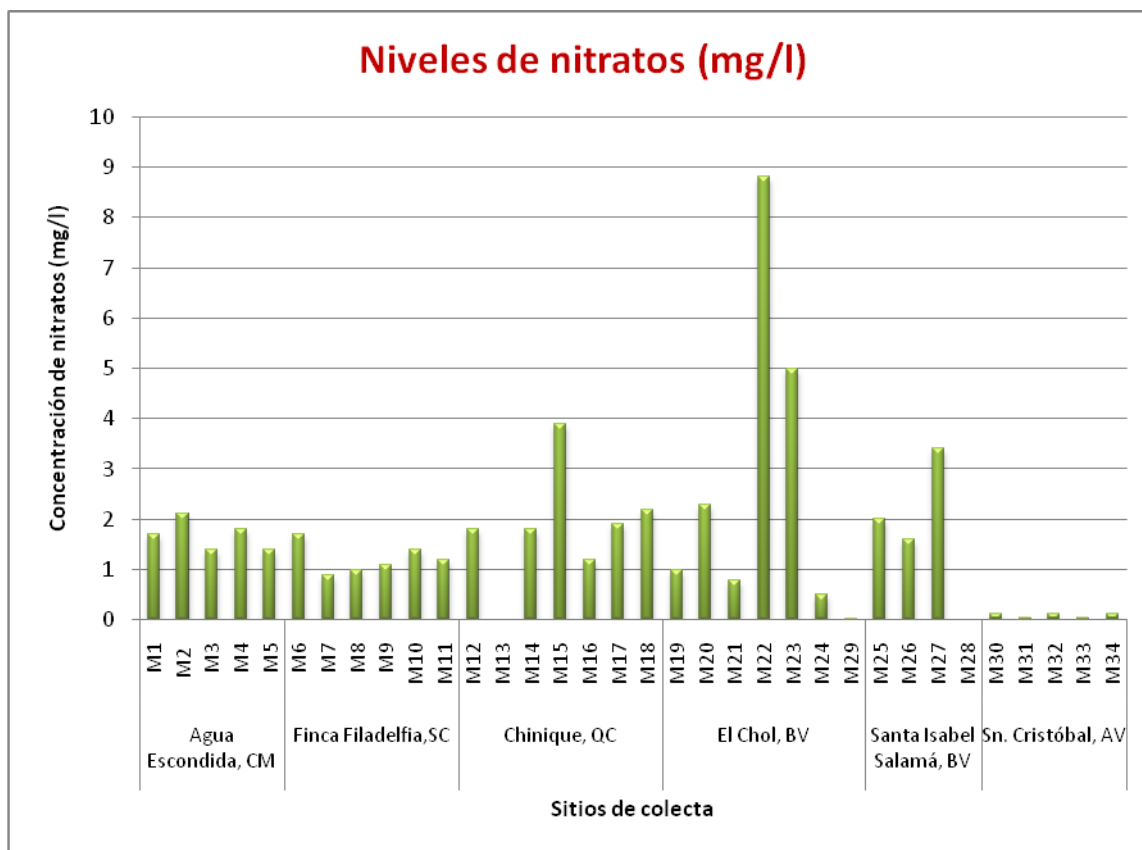
*Sitios donde se realizaron las colectas de macroinvertebrados. Los valores resaltados en negrilla, representan los valores más altos y bajos para cada medición en toda el área. FDL= Fuera del límite de detección para el método; DLD =Debajo del límite de detección

Figura 14. Comparación de los niveles de nitritos encontrados en las muestras de agua ubicados en los sitios del Altiplano Central



Las concentraciones de nitratos en sistemas acuáticos se originan de materia orgánica, abonos químicos, erosión del suelo o procesos de nitraciones generadas por bacterias, pero si estas concentraciones son altas puede ser indicador de actividades antrópicas. En el área del Altiplano Central se encontró que en los seis departamentos varían entre 0.03- 8.8mg/l (Figura 15).

Figura 15. Comparación de los niveles de nitrato encontrados en las muestras de agua ubicados en los sitios del Altiplano Central.

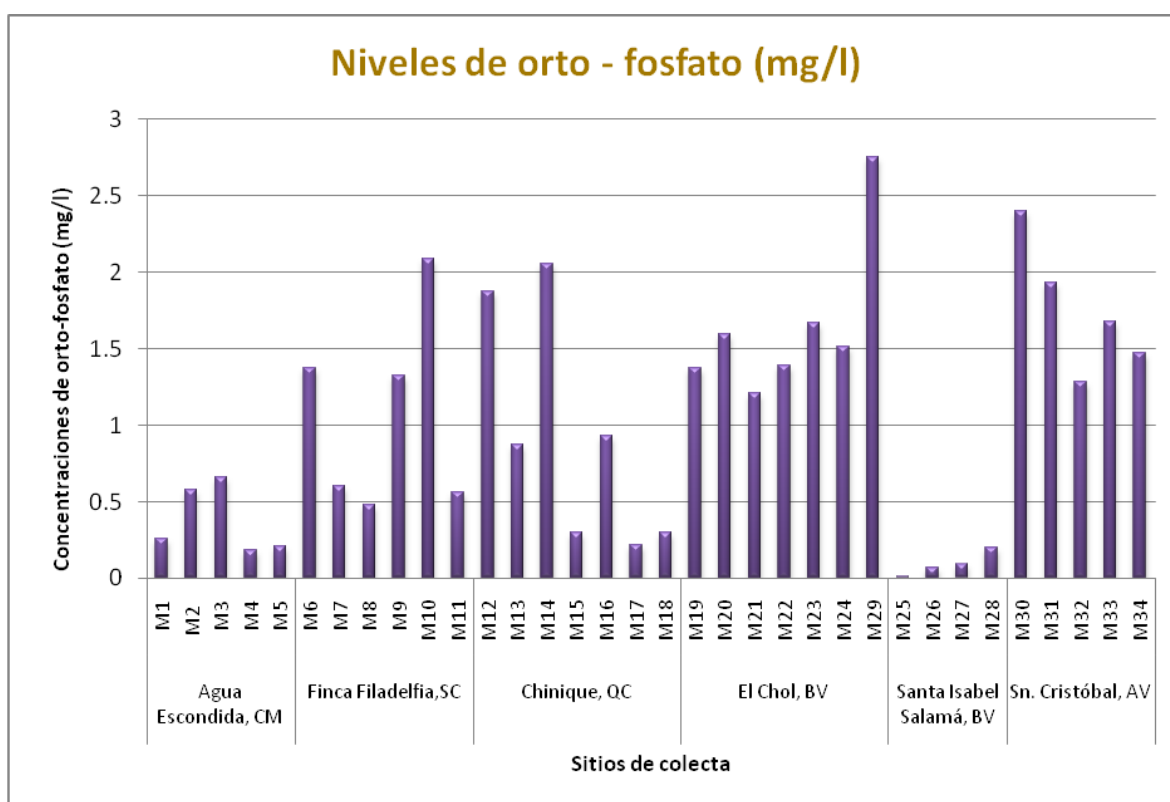


El sitio Quebrada Casa de Teja (M22, El Chol, Baja Verapaz) ubicado en un campo de ganado; presenta la concentración más alta del Altiplano Central (8.8 mg/l); mientras que los puntos del Río Cucabaj (M13, Chinique, Quiché) y Río Salamá (M28 Salamá, Baja Verapaz) obtuvieron los valores más bajos en concentración (ambas debajo del límite de detección). Por otro lado, el departamento de Alta Verapaz obtuvo en promedio las concentraciones más bajas (0.04 - 0.12 mg/l), en comparación a los otros departamentos. En el punto del Astillero, en las dos épocas en que se colectó se observó una disminución en la concentración de nitratos durante la época seca (Figura 15).

Las concentraciones de orto-fosfato en el Altiplano Central se muestran en la figura 16. Las muestras oscilan entre las concentraciones 0.01 – 2.09 mg/l. La concentración más

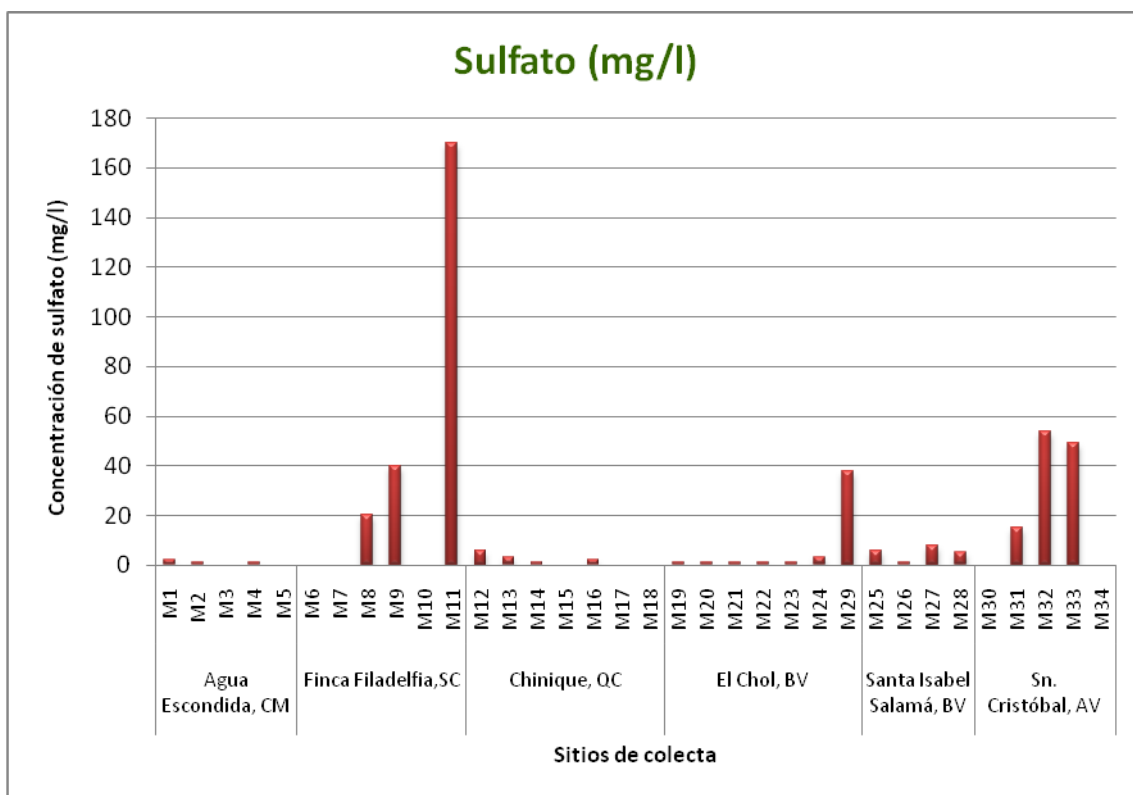
baja se encontró en la muestra del Nacimiento (M25), ubicada en Salamá Baja Verapaz (0.01 mg/l), contrariamente la muestra del Astillero (M29) obtuvo la valoración más alta ubicándose en San Cristóbal, Alta Verapaz (fuera del límite de detección del método 2.75 mg/l). En general, los departamentos de Alta y Baja Verapaz (La zona de El Chol) sostienen las concentraciones promedio más altas de fosfatos (1.21 – 1.67 mg/l), mientras que la parte de Salamá, Baja Verapaz produjo los resultados más bajos en concentración (0.01 - 0.09 mg/L). En cuanto a las muestras del Astillero (M21 y M29) se nota una disminución en la concentración de fosfato de 2.75 mg/l (fuera del límite de detección) a 1.21 mg/l en la época seca (Figura 16).

Figura 16. Comparación de los niveles de orto-fosfato encontrados en las muestras de agua en los sitios del Altiplano Central



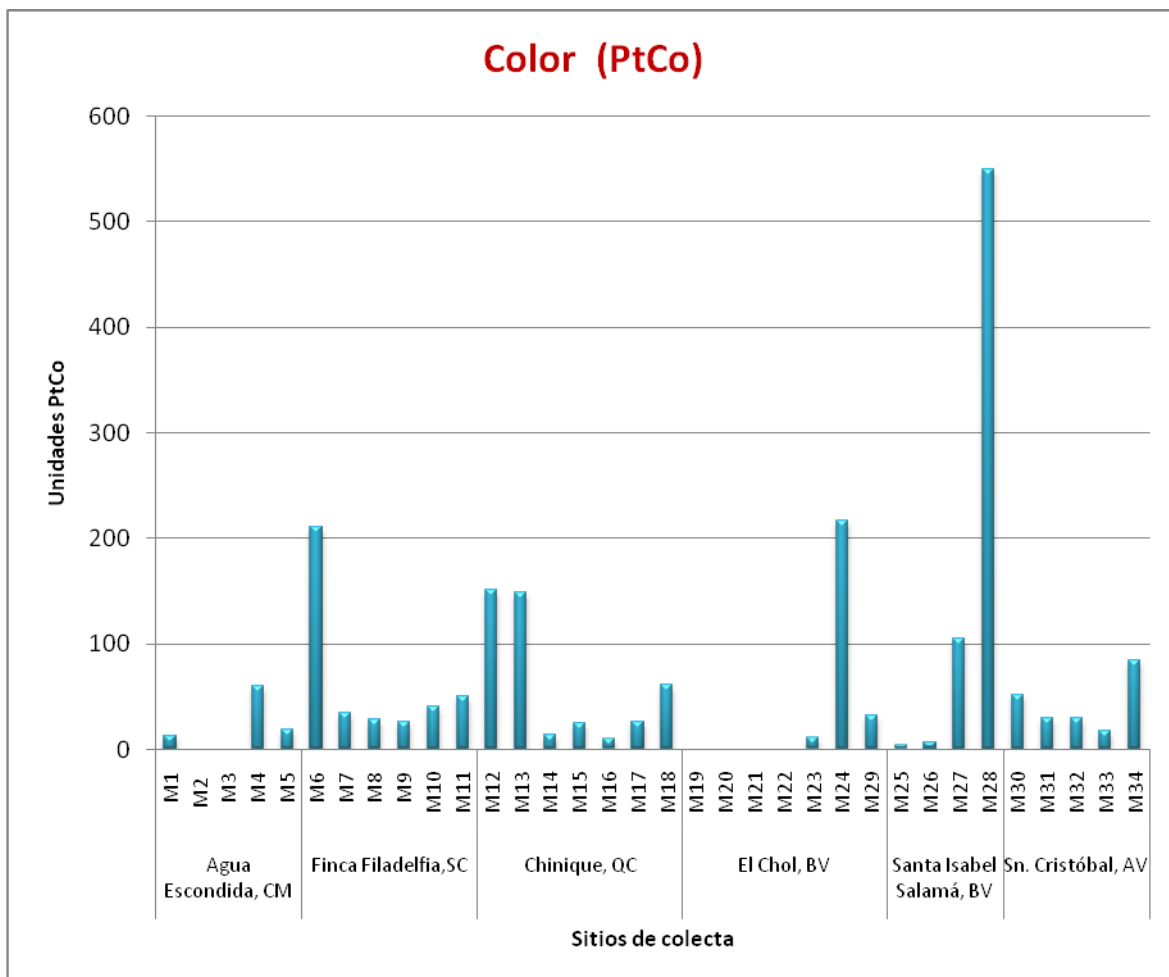
En la Figura 17 se observa que las concentraciones de sulfato son generalmente bajas en toda el área del Altiplano Central, encontrándose el valor más alto en la muestra del Riachuelo 1 (M11), Finca Filadelfia Sacatepéquez; con una concentración mayor de 70 mg/l. Los valores encontrados varían entre 1 - 54 mg/l. El departamento de Chimaltenango sostiene los valores promedio más bajos entre 0 mg/l (por debajo del límite de detección) - 2 mg/l (Figura 17).

Figura 17. Comparación de los niveles de sulfato encontrados en las muestras de agua en los sitios del Altiplano Central.



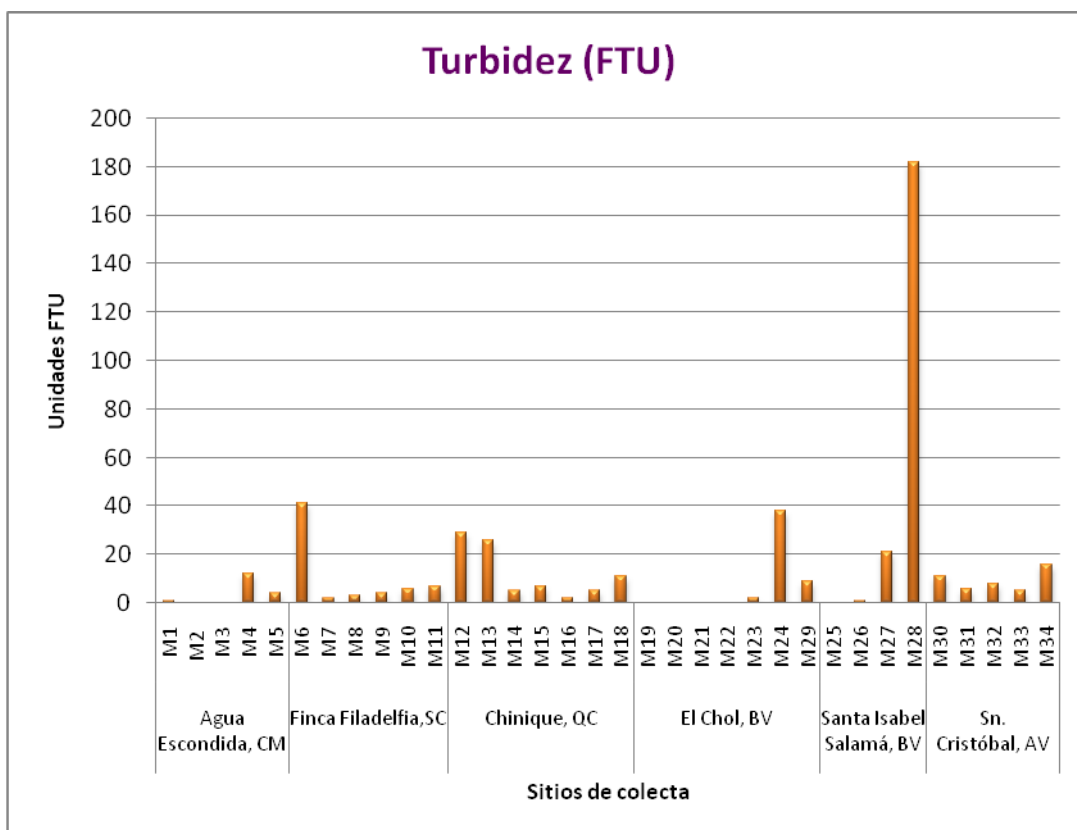
En la Figura 18 se demuestra los valores encontrados de color en el Altiplano Central, los cuales están entre 4 – 217 PtCo. El valor más alto lo obtuvo la muestra del Río Salamá (M28) Salamá, Baja Verapaz; la cual se encuentra fuera del límite de detección (550 PtCo). Es de resaltar que los valores más altos en toda el área son ríos grandes como: Río Concuá (M24), Río Salamá (M28), Las Vigas (M12), Río Cucabaj (M13) y charcos con agua estancada como la muestra del Charco (M6); los cuales contienen mucha hojarasca y materia orgánica. Los valores más bajos se encontraron en el departamento de Chimaltenango, en Agua Escondida entre los rangos 0 PtCo. (debajo del límite de detección) a 60 PtCo. En cuanto a la muestra del Astillero (M21 y M29 se observó una mayor coloración durante le época seca (Figura 18).

Figura 18. Comparación del color de las muestras de agua en cada sitio del Altiplano Central



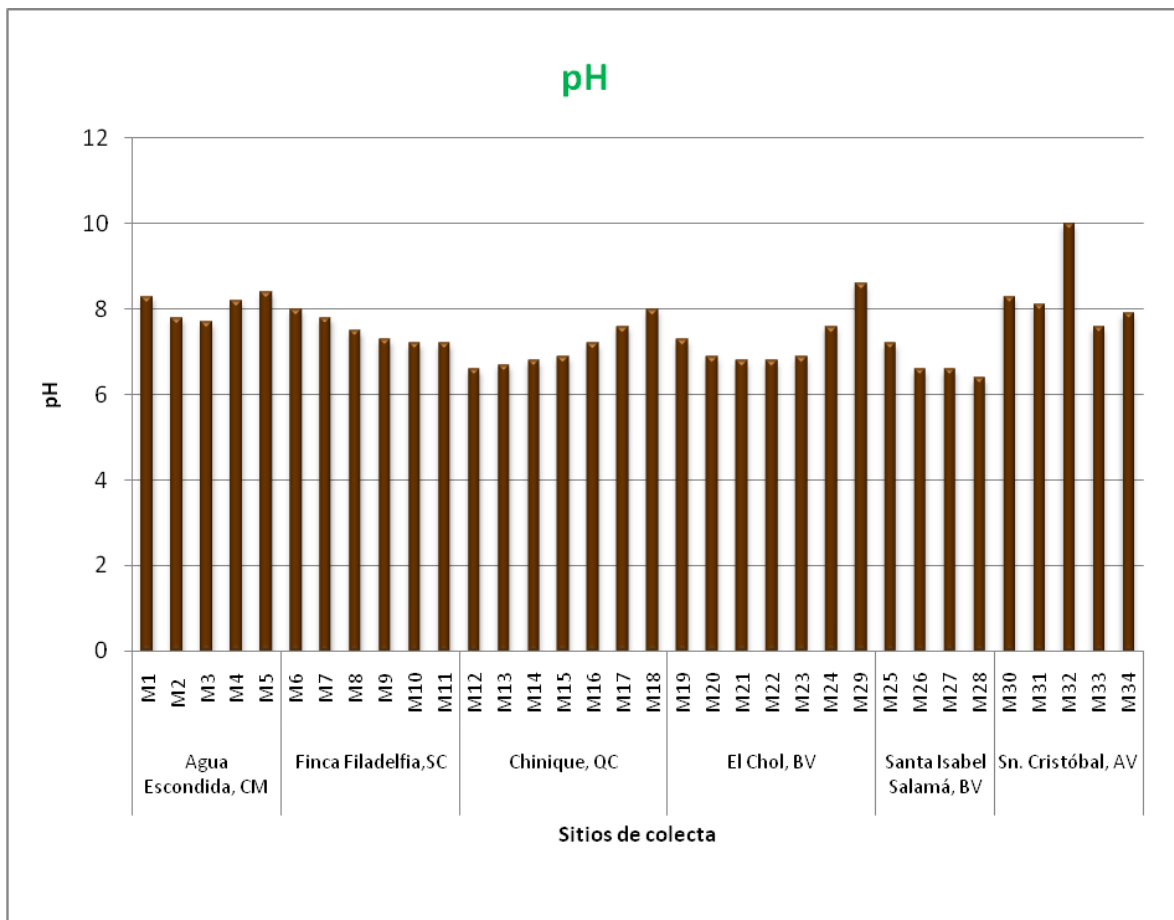
En cuanto a la turbidez, en toda la región del Altiplano Central, el área de Salamá, Baja Verapaz contiene los valores más altos de turbidez, siendo la muestra del Río Salamá (M28) el valor más alto con 182 FTU. Los valores oscilan entre 1 – 182 FTU, siendo el área del departamento de Chimaltenango el que presentó las concentraciones más bajas 0 FTU (debajo del límite de detección) a 12 FTU. De nuevo se observa que los ríos grandes: Río Concuá (M24), Río Salamá (M28) y Las Vigas (M12) son los puntos con mayor turbidez. El sitio del Astillero, (M21 y M29) en este caso, obtuvo una mayor turbidez durante la época seca (9 FTU) que en época lluviosa (0 FTU; debajo del límite de detección) (Figura 19).

Figura 19. Comparación de la turbidez de las muestras de agua de cada sitio del Altiplano Central.



Los valores de pH para el área del Altiplano Central se encuentran entre 6.6 – 10, siendo la muestra de la Bocatoma 5 m (M32) de la represa Chixoy, la más básica (pH 10). Los sitios de Chimaltenango, Sacatepéquez y Alta Verapaz denotan basicidad en sus aguas (pH 7.2 - 10), mientras que el área de Quiché y Baja Verapaz presenta aguas ácidas (pH 6.4 - 6.9). El caso del Astillero (M21 y M29) en época seca se encontró ser más básica, pH 8.6; a diferencia de la época lluviosa, pH 6.8 (Figura 20).

Figura 20. Comparación del pH de las muestras de agua de cada sitio del Altiplano Central.



B. Órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en el Altiplano Central.

Los macroinvertebrados fueron recolectados en 11 puntos de los 34 sitios seleccionados para la colecta. Esto se explica ya que factores tales como la accesibilidad y seguridad, no eran adecuados al momento de la colecta; de igual forma la implementación de la metodología seleccionada no era aplicable en todos los puntos. Los resultados obtenidos en la colecta de macroinvertebrados en los sitios se ubican en el Cuadro 14.

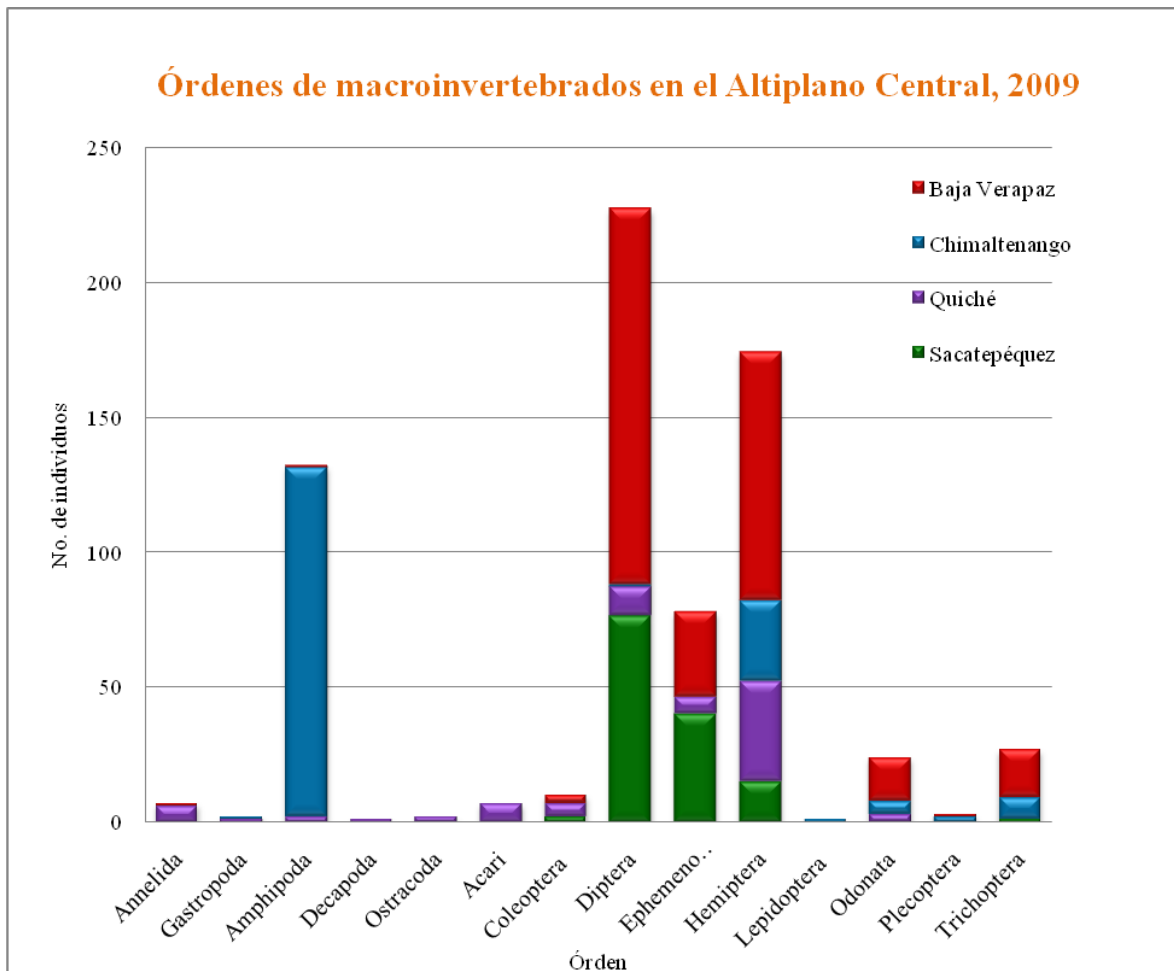
En total, en el área del altiplano central, se encontraron 14 órdenes y 29 familias de macroinvertebrados, siendo el orden Hemíptera, el taxón que presenta la mayor cantidad de familias para toda el área (Cuadro 14).

En la Figura 21 se presenta el número de individuos pertenecientes a los 14 órdenes encontrados en el área del Altiplano Central. El departamento de Quiché es el sitio de mayor diversidad en número de órdenes presentes en el área. En contraste, los departamentos de Alta Verapaz y Sacatepéquez obtuvieron pocos taxones, encontrando cuatro órdenes por sitio presentes en el área

Cuadro 14. Macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras colectadas por sitio en el Altiplano Central.

Sitio		Chichoy, Agua Escondida, Chimaltenango			Finca Filadelfia, Jocotenango, Sacatepéquez		Las Vigas, Chinique, Quiché		El Chol Baja Verapaz			Sta. Isabel, Las Trojas, Salamá
Fecha de colecta (d/m/a)		26/07/09			15/08/09		29-30/08/09		11/08/09			10/05/09
Altitud (m.SNM)		2660	2675	2510	2413	1950	1917	1959	1560	1375	1290	1790
Muestra		M1	M3	M5	M6	M11	M13	M18	M19	M22	M29	M26
Orden	Familia											
Díptera	Culicidae	1			75		5					
	Sciomyzidae				1							
	Chironomidae				51					2		132
	Tipulidae						2			1		
	Tendipedidae							1				
	Simuliidae						3		4			
Trichoptera	Hydropsychidae				1				11	7		
	Limnephilidae	8										
Ephemeroptera	Baetidae				38	2		4	1		1	30
	Heptageniidae						2					
Hemíptera	Veliidae	2		2		15	8			7	12	47
	Gerridae	7		4			2			7		13
	Corixidae	4					1	17				
	Belostomatidae		1				3	7			1	
	Naucoridae			10				1				
	Macroveliidae										1	1
	Noctonectidae											3
Coleoptera	Dysticidae					2		4				
	Limnichidae							1				
	Elmidae									1	1	
Odonata	Coenagrionidae	5						1	1			15
	Aeschnidae							2				
Amphipoda	Gammaridae	125		4			2				1	
Decapoda	Potamocarcinidae						1					
Ostracoda	-							2				
Acari	Hydracarina							7				
Gastropoda	Lymnaeidae							1				
	Unionidae	1										
Annelidae	Hirudinea							6		1		
Lepidoptera	Cossidae	1										
Plecoptera	Perlidae		2						1			
Total de organismos		154	3	20	166	19	29	54	18	26	17	241
Total de Familias		9	2	4	5	3	10	13	5	7	6	7
Total de órdenes		7	2	2	3	3	5	9	5	5	4	4

Figura 21. Comparación de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central.



En las figuras 22 a 27 se presenta una comparación de las familias de los órdenes: Trichoptera (Figura 22), Ephemeroptera (Figura 23), Hemíptera (Figura 24), Díptera (Figura 25), Odonata (Figura 26) y Coleoptera (Figura 27).

En el área del Altiplano Central se encontraron dos familias pertenecientes al orden Trichoptera, la familia Hydropsychidae en dos departamentos Baja Verapaz y Sacatepéquez, y la familia Limnephiliidae únicamente en Chimaltenango (Figura 22).

Se encontraron dos familias pertenecientes al orden Ephemeroptera en cuatro departamentos del Altiplano Central. La familia Baetidae fue dominante en comparación a Heptageniidae, ya que se encontró en los cuatro (Figura 23).

Se encontraron siete familias pertenecientes al orden Hemiptera, las cuales se distribuyen en toda el área de estudio (Figura 24). El departamento de Chimaltenango obtuvo la mayor cantidad de familias presentes en los sitios, mientras que Alta Verapaz obtuvo la menor diversidad de familias

Figura 22. Comparación de las familias del orden Trichoptera encontradas en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central.

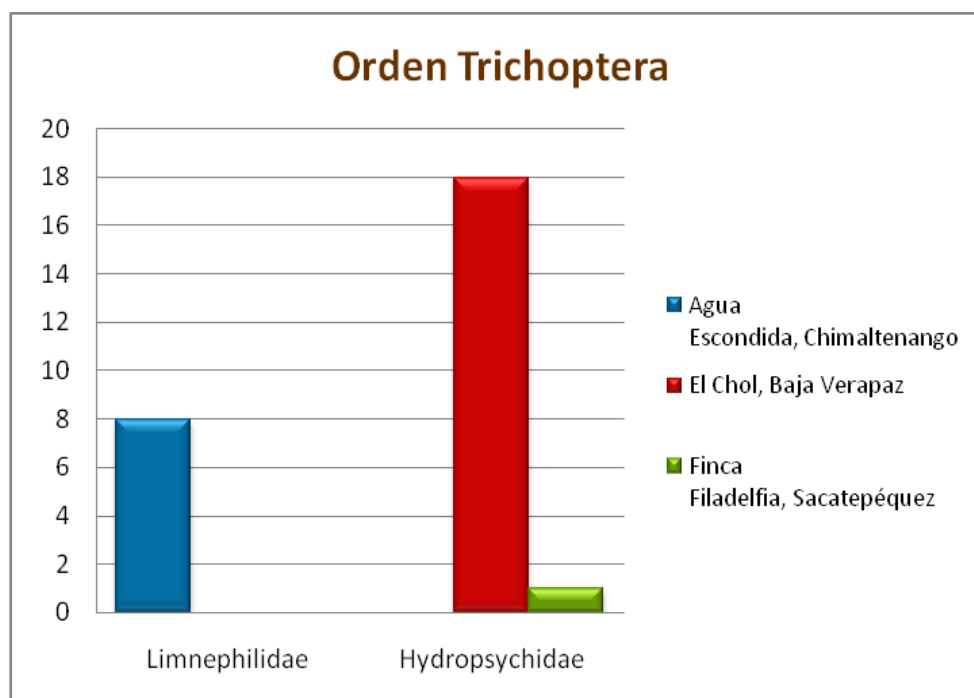


Figura 23. Comparación de las familias del orden Ephemeroptera, encontradas en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central.

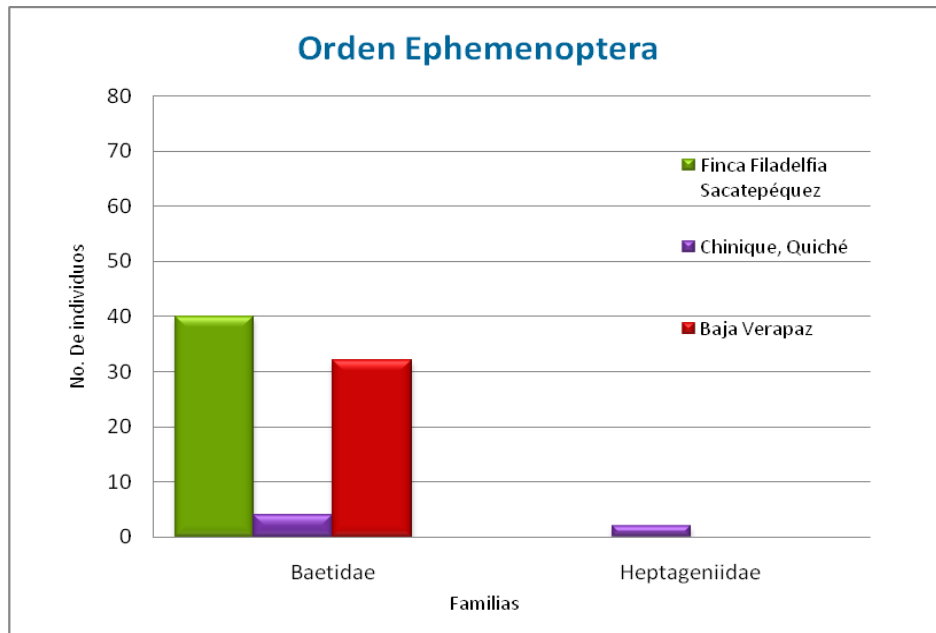
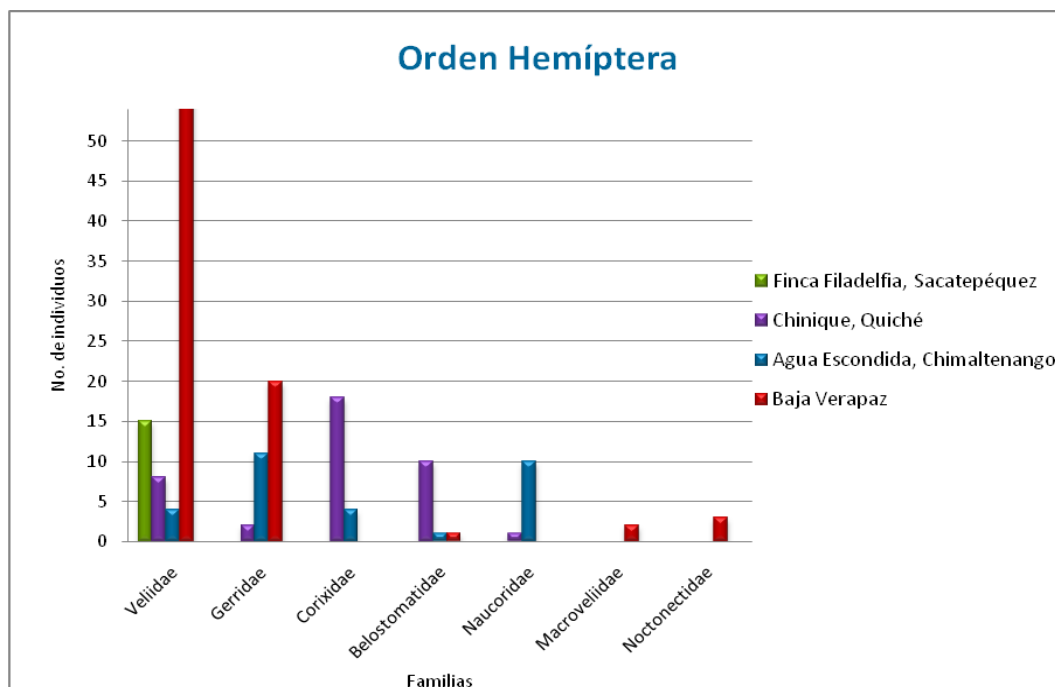
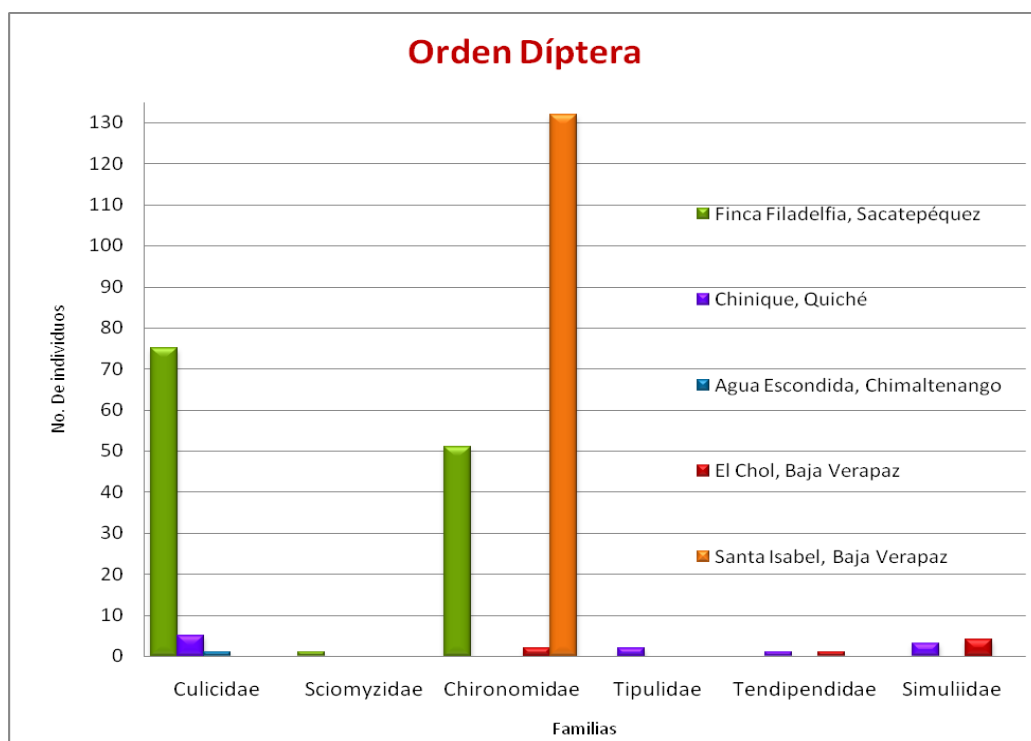


Figura 24. Comparación de las familias del orden Hemíptera encontrados en las muestras de agua colectadas en el altiplano central.



El orden Díptera comparte junto con el orden Hemíptera una gran diversidad de familias, ya que se encontró seis familias en cuatro departamentos (Figura 25). La familia más abundante fue Chironomidae.

Figura 25. Comparación de las familias del orden Díptera encontradas en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central



Dos familias pertenecientes al orden Odonata fueron identificadas para tres departamentos del Altiplano. La familia Coenagrionidae fue la dominante en el área obteniendo una mayor abundancia en el departamento de Baja Verapaz (Figura 26).

En cuatro departamentos del área se encontró tres familias pertenecientes al orden Coleoptera. El departamento de Quiché obtuvo la mayor cantidad de familias, y de especímenes (Figura 27).

Figura 26. Comparación de las familias del orden Odonata encontradas en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central

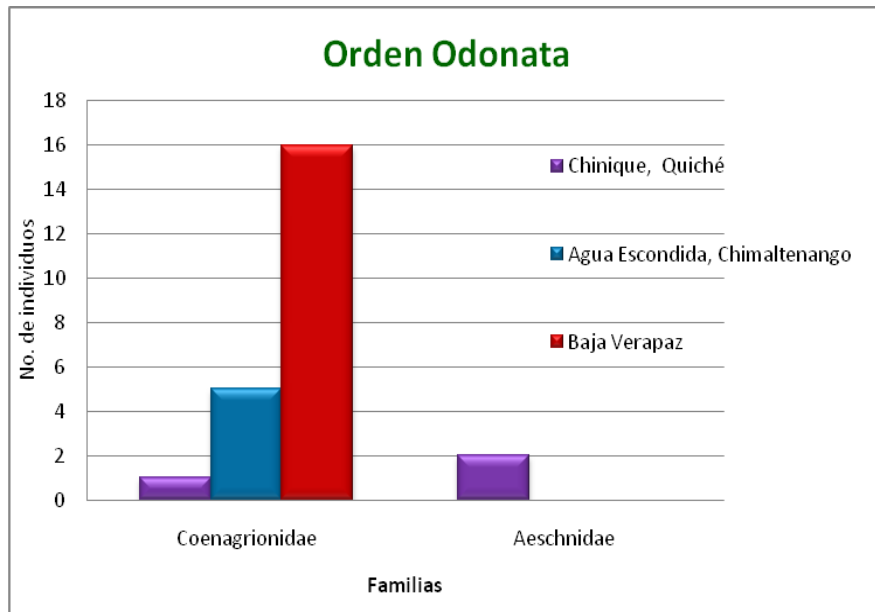
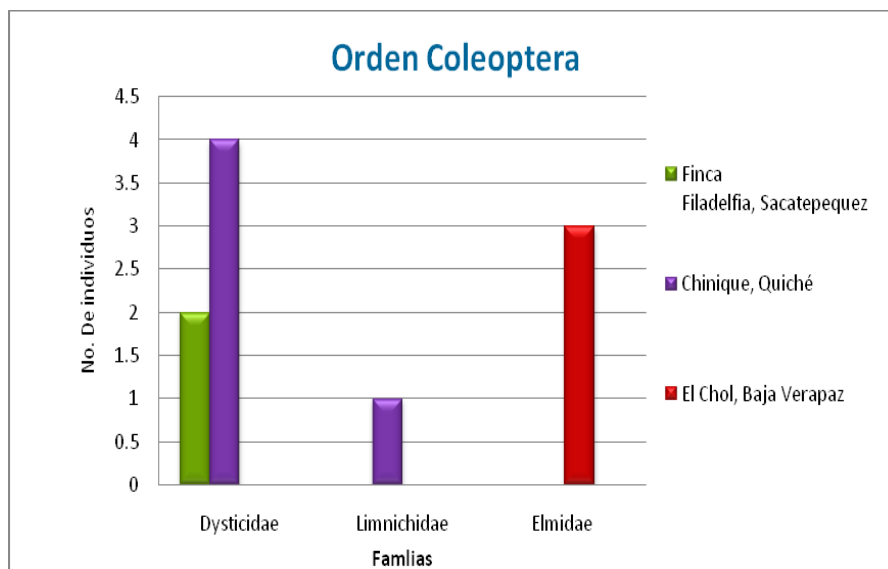


Fig. 27. Comparación de las familias del orden Coleoptera encontradas en las muestras de agua, colectadas en el Altiplano Central.



1. Órdenes y familias de macroinvertebrados presentes por muestra. A continuación, en las figuras 28, 29, 30 y 31 se presentan los resultados de familias de macroinvertebrados encontrados por sitio de colecta. En la muestra del Nacimiento (M1) presentó nueve familias de macroinvertebrados, entre las cuales pertenecen a siete órdenes (Díptera, Hemíptera, Amphipoda, Odonata, Trichoptera, Lepidoptera y Gastropoda). La familia Gammaridae (Amphipoda) es la más abundante en el sitio (Figura 28).

La muestra del Arroyo (M2) presentó poca diversidad de familias pertenecientes a los órdenes Hemíptera (Familia Belostomatidae) y Plecoptera (Familia Perlidae). La familia Perlidae fue dominante en la muestra, presentando la mayor cantidad de especímenes (Figura 28).

Para la muestra del Riachuelo (M5), se obtuvo cuatro familias pertenecientes a dos órdenes; Hemiptera y Amphipoda. El primer orden fue dominante en el sitio con tres familias presentes; de éstas, la familia Naucoridae fue dominante para el área (Figura 28).

Para el área de la Finca Filadelfia, Sacatepéquez, se presenta los resultados de familias de macroinvertebrados en los sitios de colecta (Figura 29). La muestra del Charco (M6) presenta cinco familias, siendo provenientes de tres órdenes: Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera. El orden Diptera fue dominante en la muestra, siendo Culicidae la familia con mayor cantidad de individuos (Figura 29). Es necesario mencionar, que este sitio posee una fauna similar a la encontrada en sitios como troncos huecos, bromelias, etc; que contienen agua empozada.

La muestra del Riachuelo 3 (M11) se compone de tres familias pertenecientes a diferentes órdenes. La familia Veliidae (Hemiptera) fue dominante sobre las otras familias, los otros órdenes presentes son Coleoptera y Ephemeroptera (Figura 29).

Fig. 28. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en las tres muestras de agua colectadas en el sitio de Agua Escondida, Chichoy, Chimaltenango

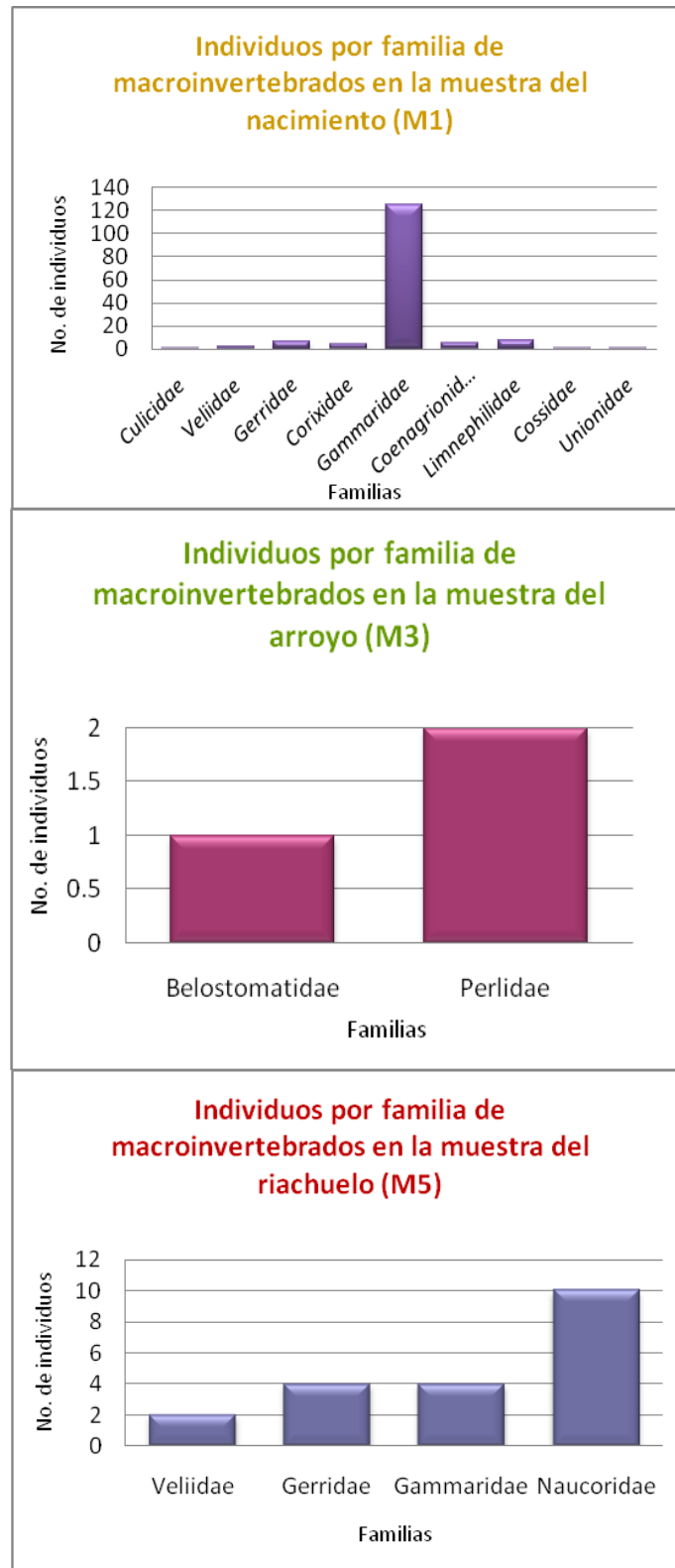
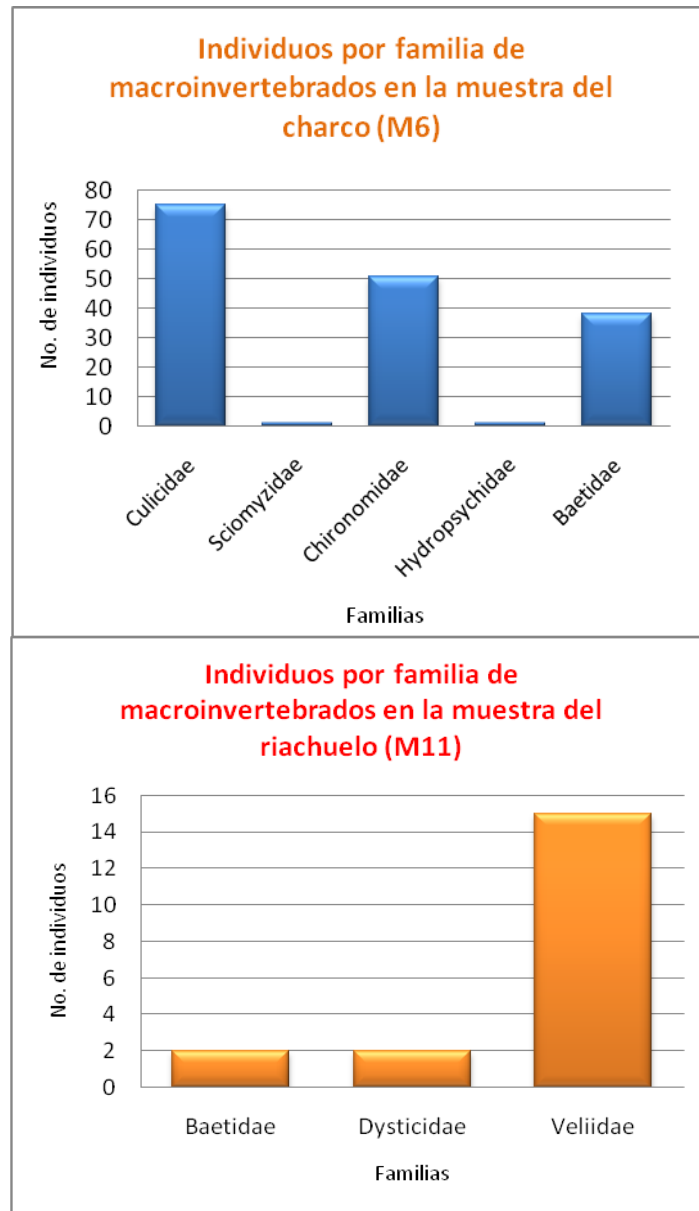


Figura 29. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en las dos muestras de agua, colectadas en la Finca Filadelfia, Sacatepéquez



En el caso del área de Chinique Quiché, se colectó en dos sitios, los resultados de las familias de macroinvertebrados presentes en los sitios se presentan en la figura 30. La muestra del Río Cucabaj (M13) presentó una gran diversidad de familias, ya que se encontraron nueve familias y cuatro órdenes.

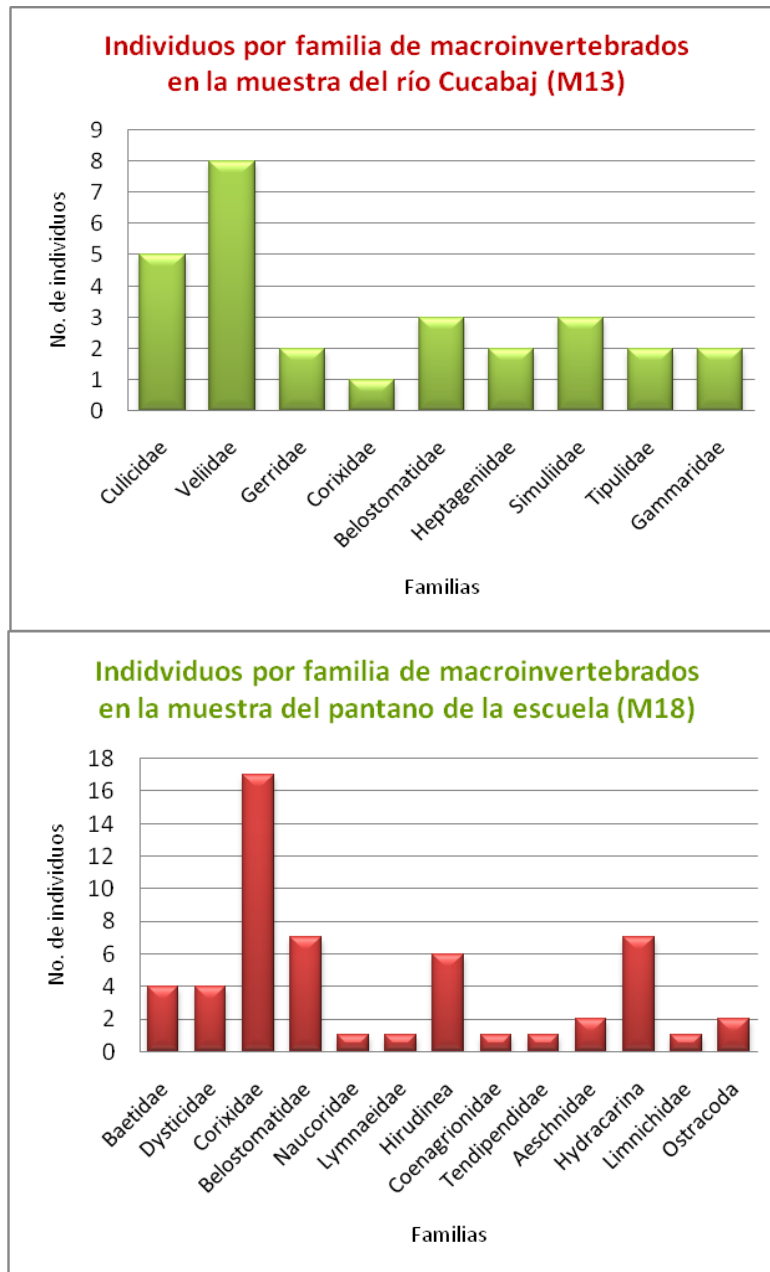
El orden Hemíptera presentó la mayor cantidad de individuos distribuidos en cuatro familias distintas; Veliidae obtuvo la mayoría de organismos presentes. El orden Díptera de igual forma fue fuerte al presentar tres familias, siendo Culicidae la familia con mayoría de organismos (Figura 30).

En cuanto a la muestra del Pantano de la Escuela (M18) es la muestra con mayor cantidad de familias de toda el área del Altiplano Central con un total de 13 familias y nueve ordenes. La familia Corixidae (orden Hemíptera) fue la familia dominante (Figura 30).

Para el área de Baja Verapaz, se colectó en los sitios de El Chol y Salamá. En total se escogieron cuatro sitios para la colecta de macroinvertebrados en este departamento (Figura 31). El sitio de la muestra de la Quebrada (M19) presentó cinco familias y cuatro órdenes (Trichoptera, Diptera, Odonata y Plecoptera), de estos la familia Hydropsychidae (Trichoptera) fue dominante en el área.

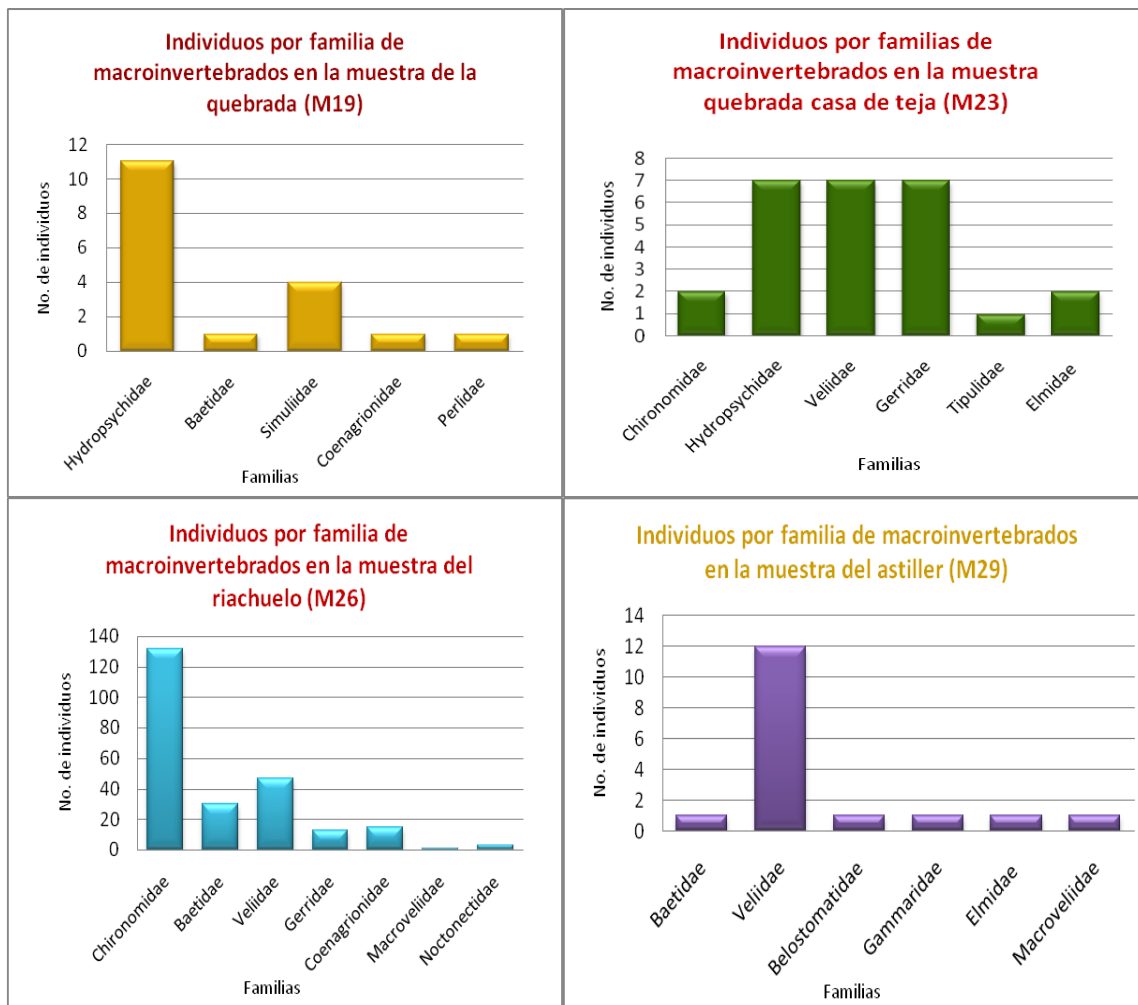
La muestra de Quebrada Casa de Teja (M22) obtuvo seis familias y cuatro órdenes (Diptera, Trichoptera, Hemiptera y Coleoptera). El orden Hemíptera fue el más abundante en la muestra, siendo la familia Veliidae junto con Gerridae e Hydropsychidae (Trichoptera) las familias con mayor número de individuos presentes en la muestra (Figura 31).

Figura 30. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes las dos muestras de agua colectadas en el sitio de Chinique, Quiché.



Para la muestra Riachuelo 2 (M26), se identificó siete familias y cuatro órdenes (Hemíptera, Odonata, Díptera y Ephemeroptera). La familia dominante para el sitio fue Chironomidae (Díptera), aunque el orden Hemíptera presentó una mayor cantidad de familias en el sitio (Figura 31). Por último en el Astillero (M29), se presentaron seis familias y cuatro órdenes (Ephemeroptera, Hemíptera, Amphipoda y Coleoptera). La familia Veliidae fue dominante para el área, presentando la mayor cantidad de individuos en la muestra (Figura 31).

Figura 31. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en las cuatro muestras de agua colectadas en El Chol y Salamá, Baja Verapaz.



En las figuras 32 y 33 se observa el número de familias y órdenes de macroinvertebrados acuáticos (respectivamente) presentes en el Altiplano Central a diferentes altitudes. En general el área presenta una mayor cantidad de familias en tres altitudes: 1917, 1959 y 2660 m SNM, mientras que el mayor número de órdenes sólo se encuentra en dos altitudes: 1675 y 1917 m SNM.

Figura 32. Familias de macroinvertebrados acuáticos presentes a diferentes altitudes del Altiplano Central.

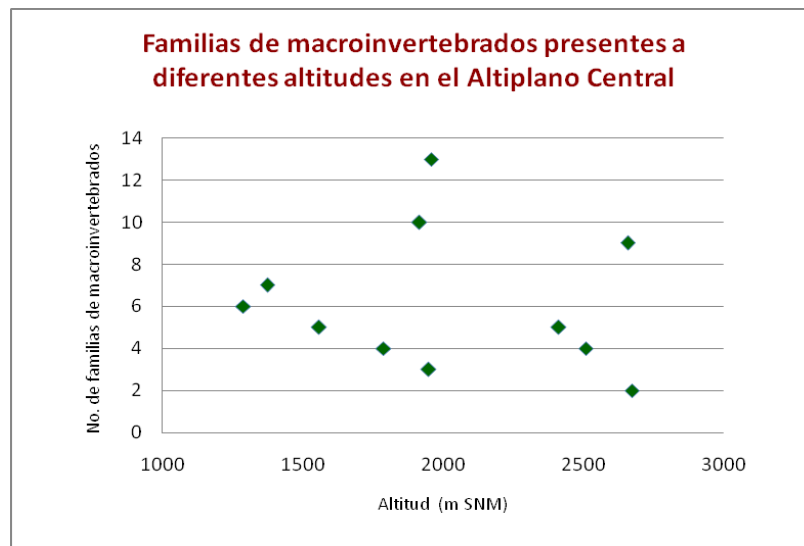
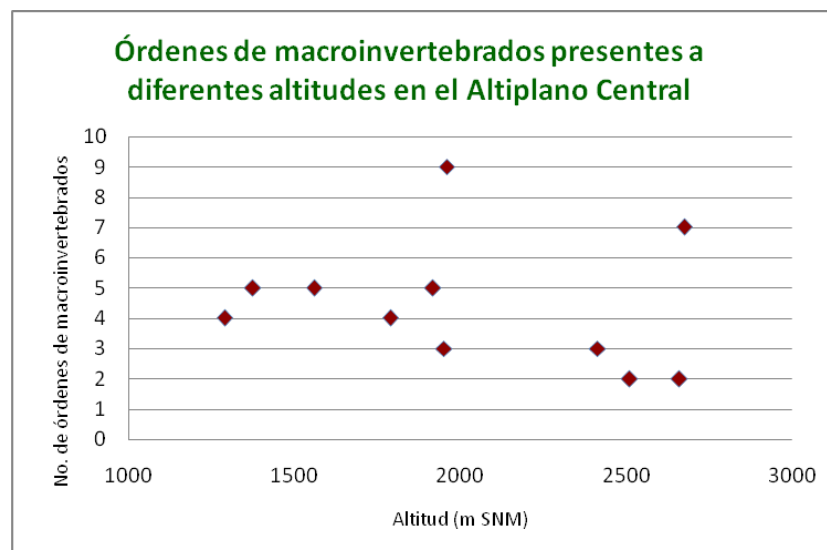


Figura 33. Órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes a diferentes altitudes del Altiplano Central



2. División de grupos funcionales alimenticios de los macroinvertebrados presentes en el Altiplano Central. Dentro de los grupos de macroinvertebrados distribuidos a través del Altiplano Central, se encontraron seis grupos funcionales basados en la forma de alimentación de los organismos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados presentes en las muestras colectadas en el Altiplano Central.

Orden	Familia	Grupo funcional	Orden	Familia	Grupo funcional
Díptera	Culicidae	colector-filtrador	Coleoptera	Dytiscidae	depredador
	Sciomyzidae	depredador		Limnichidae	colector
	Chironomidae	depredador		Elmidae	raspador
	Tipulidae	depredador	Odonata	Coenagrionidae	depredador
	Tendipendidae	colector/recogedor		Aeschnidae	depredador
		Simuliidae	colector	Amphipoda	Gammaridae
Trichoptera	Hydropsychidae	colector	Decapoda	Potamocarcinidae	tritador, depredador
	Limnephilidae	tritador	Ostracoda	NI	colector/recogedor
Ephemeroptera	Baetidae	colector/recogedor	Acari	Hydracarina	depredador
	Heptageniidae	raspador	Gastropoda	Lymnaeidae	raspador
Hemíptera	Veliidae	depredador		Unionidae	colector-filtrador
	Gerridae	depredador	Annelida	Hirudinea	depredador
	Corixidae	depredador	Lepidoptera	Cossidae	tritador
	Belostomatidae	depredador	Plecoptera	Perlidae	depredador
		Naucoridae	depredador		

NI= no identificada (Fuente: Elaboración propia)

C. Índices bióticos.

Para determinar perturbación en los sitios de muestreo, se recurrió al uso de los siguientes índices bióticos:

- Índice de monitoreo biológico acuático del grupo trabajador modificado para Costa Rica (BMWP-CR)

- Índice de tolerancia a la contaminación (PTI)
- Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Ephemeroptera/ Chironomidae
- Índice biológico a nivel de invertebrados acuáticos en el Salvador (IBF-SV) (Cuadros 16, 17, 18 y 19).

Según el índice BMWP-CR, en general las muestras presentan perturbación del cuerpo acuático, todas las áreas presentan un estado poco óptimo. Los valores obtenidos para el índice radican entre 7 – 60, los cuales se encuentran en categorías que reflejan una baja calidad (Cuadro 16).

Cuadro 16. Índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party, modificado para Costa Rica) de los macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central, año 2009.

Sitio	Muestra	Valor BMWP-CR	Calidad de agua según el índice BMWP-CR	Calidad de agua según observaciones Michael Dix	
Chichoy, Chimaltenango	M1. Nacimiento	9	Extremadamente contaminada	Buena	
	M3. Estanque	33	Muy contaminada	Buena	
	M5. Río Motagua	60	Contaminación moderada	Mala	
Finca Filadelfia, Sacatepéquez	M6. Charco	25	Muy contaminada	* NA	
	M11. Riachuelo 3	14	Extremadamente contaminada	Regular	
Chinique, Quiché	M13. Río Cucabaj	11	Extremadamente contaminada	Regular	
	M18. Pantano de Escuela	18	Muy contaminada	Buena	
Baja Verapaz	El Chol	M19. Quebrada	28	Muy contaminada	Buena
		M22. Quebrada Casa de Teja	14	Extremadamente contaminada	Buena
		M29. El Astillero	16	Extremadamente contaminada	Buena
	Sta. Isabel. Salamá	M26. Riachuelo 2	7	Extremadamente contaminada	Buena

* NA= No aplicable

Los valores obtenidos para el índice de PTI oscilan entre 8 – 617; por lo que los resultados fueron diversos para las muestras. En general, las muestras se encuentran con poca perturbación, con excepción de tres sitios altamente perturbados: Nacimiento (M1) Chimaltenango; Riachuelo 3 (M11) Sacatepéquez; y el Astillero (M29) Baja Verapaz (Cuadro 17).

Cuadro 17. Índice PTI (Pollution Tolerance Index) de los macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central, año 2009.

Sitio		Muestra	Valor PTI	Calidad de agua según índice PTI	Calidad de agua según observaciones Michael Dix
Chichoy, Chimaltenango		M1. Nacimiento	8	Pobre	Buena
		M3. Estanque	24	Excelente	Buena
		M5. Río Motagua	103	Excelente	Mala
Finca Filadelfia, Sacatepéquez		M6. Charco	441	Excelente	* NA
		M11. Riachuelo 3	8	Pobre	Regular
Chinique, Quiché		M13. Río Cucabaj	12	Regular	Regular
		M18. Pantano de Escuela	207	Excelente	Buena
Baja Verapaz	El Chol	M19. Quebrada	59	Excelente	Buena
		M22. Quebrada Casa de Teja	41	Excelente	Buena
		M29. El Astillero	11	Pobre	Buena
	Sta. Isabel. Salamá	M26. Riachuelo 2	617	Excelente	Buena

* NA= No aplicable

El índice IBF-SV demostró valores entre 1 – 7, por lo que la mayoría de las muestras obtuvieron como resultado una baja perturbación. La única muestra que se encuentra con contaminación orgánica severa es la M18, el Pantano de la Escuela, ubicada

en Chinique, Quiché. Las demás muestras presentan posible contaminación orgánica (Cuadro 18).

Cuadro 18. Índice IBF-SV (Índice biológico a nivel de familias de invertebrados en el Salvador) para macroinvertebrados acuáticos presentes en el Altiplano Central, año 2009.

Sitio	Muestra	Valor IBF-SV	Categoría de contaminación	Calidad de agua según índice IBF-SV	Calidad de agua según observaciones Michael Dix	
Chichoy, Chimaltenango	M1. Nacimiento	5.3	4	Regular. Contaminación orgánica bastante sustancial es probable	Buena	
	M3. Estanque	6.2	5	Regular/Pobre. Contaminación sustancial probable	Buena	
	M5. Río Motagua	5.3	4	Regular. Contaminación orgánica bastante sustancial es probable	Mala	
Finca Filadelfia, Sacatepéquez	M6. Charco	4.9	3	Buena, Alguna contaminación orgánica probable	* NA	
	M11. Riachuelo 3	3.7	1	Excelente, Contaminación orgánica improbable	Regular	
Chinique, Quiché	M13. Río Cucabaj	5.7	4	Regular. Contaminación orgánica bastante sustancial es probable	Regular	
	M18. Pantano de Escuela	8.4	7	Muy pobre. Contaminación orgánica severa probable	Buena	
Baja Verapaz	El Chol	M19. Quebrada	5.3	4	Regular. Contaminación orgánica bastante sustancial es probable	Buena
		M22. Quebrada Casa de Teja	5.5	4	Regular. Contaminación orgánica bastante sustancial es probable	Buena
		M29. El Astillero	4.8	3	Buena. Alguna contaminación orgánica probable	Buena
	Sta. Isabel. Salamá	M26. Riachuelo 2	2.3	1	Excelente. Contaminación orgánica improbable	Buena

* NA= No aplicable

Según el índice EPT/C los valores se encuentran entre 0 – 13, la mayoría de las muestras obtuvieron como resultado una alta perturbación. Las únicas muestras que se encuentran con poca perturbación son M1, el Nacimiento, ubicada en Chichoy Chimaltenango; M18 Pantano de la escuela en Chinique Quiché; M19 la Quebrada y M22, Quebrada Casa de Teja ubicada en el Chol, Baja Verapaz (Cuadro 19).

Cuadro 19. Índice EPT/C (Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) para el Altiplano Central, año 2009

Sitio		Muestra	Valor EPT/C	Calidad de agua según índice EPT/C	Calidad de hábitat según observaciones Michael Dix
Chichoy, Chimaltenango		M1. Nacimiento	8	Buena	Buena
		M3. Estanque	2	Pobre	Buena
		M5. Río Motagua	0	Pobre	Mala
Finca Filadelfia, Sacatepéquez		M6. Charco	1	Pobre	*NA
		M11. Riachuelo 3	2	Pobre	Regular
Chinique, Quiché		M13. Río Cucabaj	2	Pobre	Regular
		M18. Pantano de Escuela	4	Regular	Buena
Baja Verapaz	El Chol	M19. Quebrada	13	Excelente	Buena
		M22. Quebrada Casa de Teja	4	Regular	Buena
		M29. El Astillero	1	Pobre	Buena
	Sta. Isabel, Salamá	M26. Riachuelo 2	0	Pobre	Buena

*NA = No aplicable

El Cuadro 20 presenta los diferentes resultados obtenidos de los cuatro índices bióticos utilizados para el estudio, mientras que el Cuadro 21 muestra las concordancias que existen entre los resultados obtenidos de los índices en cuanto a la calidad del agua.

Al comparar los resultados de los cuatro índices bióticos utilizados (Cuadro 20), se distingue que el índice BMWP-CR y el EPT/C tienen mayor concordancia entre sí. De igual forma, los índices BMWP-CR y el IBF-SV también concuerdan en varios de los resultados generados para los sitios de colecta (Cuadro 21). Para los sitios donde se realizó colecta de macroinvertebrados, se observa que no existe relación en cuanto a los niveles de nutrientes y los resultados de los cuatro índices bióticos aplicados. Un ejemplo de ello es la muestra M 13, Río Cucabaj, la cual presenta concentraciones bajas de estos nutrientes, pero los cuatro índices indican una alta perturbación del sitio (Cuadro 20).

Cuadro 20. Cuadro comparativo de la calidad de agua según los cuatro índices bióticos aplicados a las muestras de macroinvertebrados colectados en el Altiplano Central: Índice BMWP-CR, IBF-SV, PTI y EPT/C y concentraciones de nitrato (mg/l) y orto-fosfato (mg/l). Año 2009

Sitio	Muestra	Índice IBF-SV	Índice BMWP-CR	Índice PTI	Índice EPT/C	Observaciones Michael Dix	Nitrato (mg/l)	Orto-fosfato (mg/l)	
Chichoy, Chimaltenango	M1. Nacimiento	●Regular	●Extremadamente contaminada	● Pobre	○ Buena	○ Buena	1.7	0.26	
	M3. Estanque	●Regular/ ●Pobre	● Muy contaminada	○ Excelente	● Pobre	○ Buena	1.4	0.66	
	M5. Río Motagua	●Regular	● Contaminación moderada	○ Excelente	● Pobre	● Mala	1.4	0.21	
Finca Filadelfia, Sacatepéquez	M6. Charco	○ Buena	●Muy contaminada	○ Excelente	●Pobre	* NA	1.7	1.37	
	M11. Riachuelo 3	○Excelente	●Extremadamente contaminada	● Pobre	●Pobre	● Regular	1.2	0.56	
Chinique, Quiché	M13. Río Cucabaj	● Regular	●Extremadamente contaminada	● Regular	●Pobre	● Regular	0	0.87	
	M18. Pantano de escuela	● Muy pobre	● Muy contaminada	○ Excelente	●Regular	○ Buena	2.2	0.3	
Baja Verapaz	El Chol	M19. Quebrada	● Regular	● Muy contaminada	○ Excelente	○ Excelente	○ Buena	1	1.37
		M22. Quebrada casa de teja	● Regular	●Extremadamente contaminada	○ Excelente	●Regular	● Mala	8.8	1.39
		M29. El Astillero	○ Buena	●Extremadamente contaminada	● Pobre	● Pobre	○ Buena	0.03	FLD
	Sta. Isabel Salamá	M26. Riachuelo 2	○Excelente	●Extremadamente contaminada	○ Excelente	●Pobre	○ Buena	1.6	0.07

- Resultados que demuestran perturbación relativa del sitio;
- Resultados que demuestran la carencia de perturbación relativa del sitio;
- * NA= No aplicable.

Cuadro 21. Similitudes encontradas en resultados de los índices bióticos aplicados al Altiplano Central

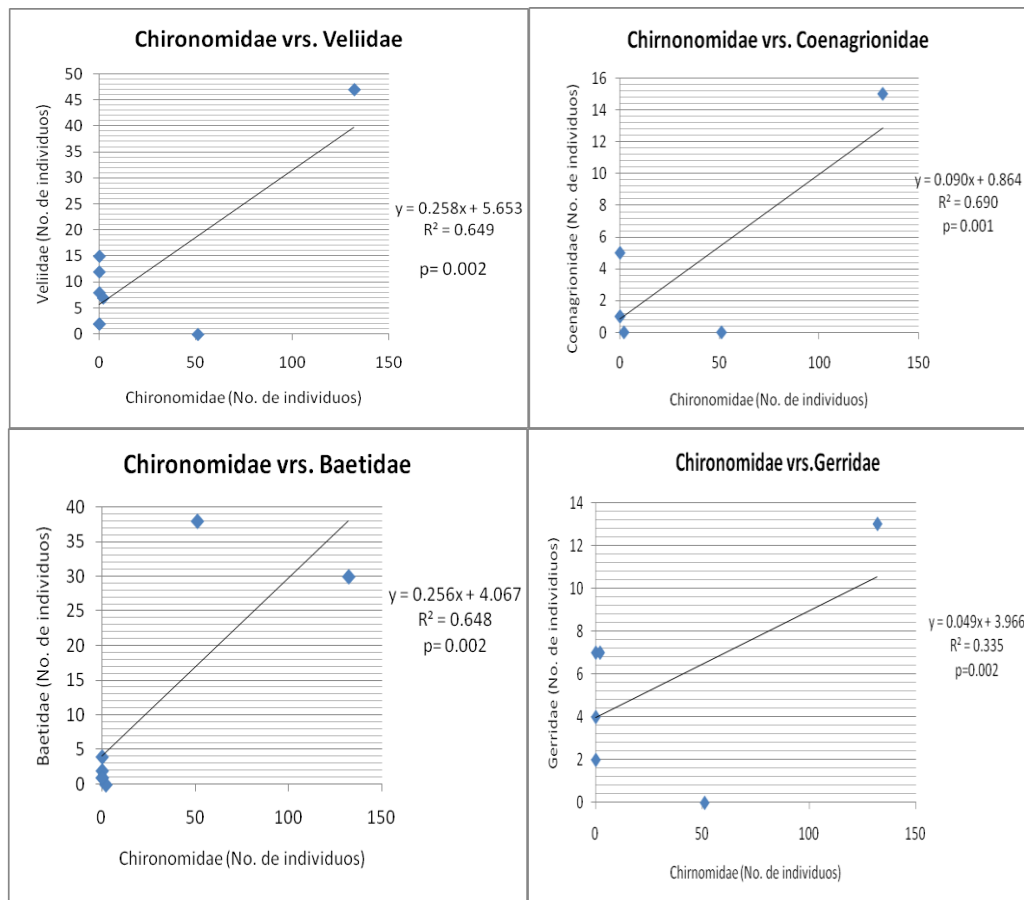
Índices	BMWP-CR	IBF-SV	PTI
BMWP-CR			
IBF-SV	7		
PTI	4	4	
EPT/C	9	5	4

D. Correlaciones canónicas.

Se encontraron correlaciones estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las propias familias de macroinvertebrados (Figuras 34, 35, 36 y 37) y a la vez entre factores fisicoquímicos y algunas familias de macroinvertebrados (Figuras 38 y 39). Se tomó como criterio para la correlación, a las familias presentes en más de tres sitios de muestreo.

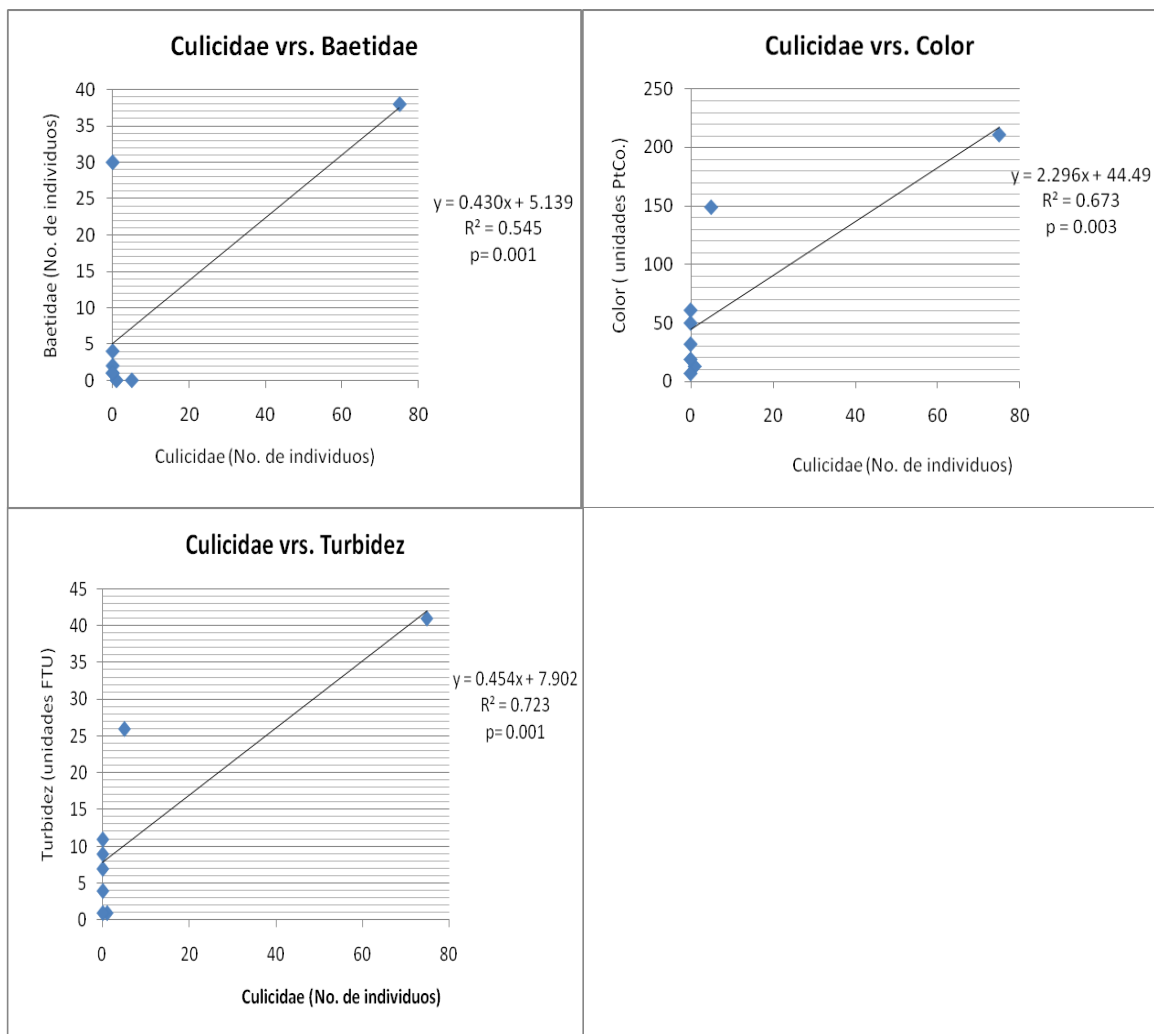
Existe correlación positiva estadísticamente significativa en la presencia entre la familia Chironomidae (Diptera) con las familias Veliidae (Hemíptera) ($p=0.002$), Gerridae (Hemiptera) ($p = 0.002$), Baetidae (Ephemeroptera) ($p=0.002$) y Coeniagrionidae (Odonata) (0.001) (Figura 34).

Figura 34. Correlación entre las familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados en el Altiplano Central: Chironomidae vs. Gerridae, Baetidae y Coenagrionidae.



Se encontró correlación positiva estadísticamente significativa en la presencia de Culicidae (Diptera) y Baetidae (Ephemeroptera) ($p=0.001$). De igual forma existe correlación positiva en la presencia de la familia Culicidae y los factores físicos de color ($p= 0.003$) y turbidez del agua ($p= 0.001$) (Figura 35).

Figura 35. Correlación entre las familias de macroinvertebrados acuáticos de las muestras de agua del Altiplano Central: Culicidae vrs. Baetidae y de los factores físicos de color y turbidez.



También existe una correlación positiva estadísticamente significativa en la presencia de la familia Veliidae (Hemíptera) y Gerridae (Hemíptera) ($p = 0.02$) (Figura 36). A la vez la familia Veliidae (Hemíptera) se correlaciona de forma positiva con la familia Coenagrionidae (Odonata) ($p = 0.001$). La familia Corixidae (Hemíptera) se encuentra correlacionada positivamente con la familia Belostomatidae (Hemíptera), afectando así la presencia de esta última ($p = 0.0003$) (Figura 37).

La familia Gerridae (Hemíptera) tiene una correlación positiva en la presencia de la familia Coenagrionidae (Odonata) ($p = 0.01$) (Figura 38).

Figura 36. Correlación entre las familias de macroinvertebrados acuáticos de las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central: Veliidae vrs. Gerridae y Coenagrionidae.

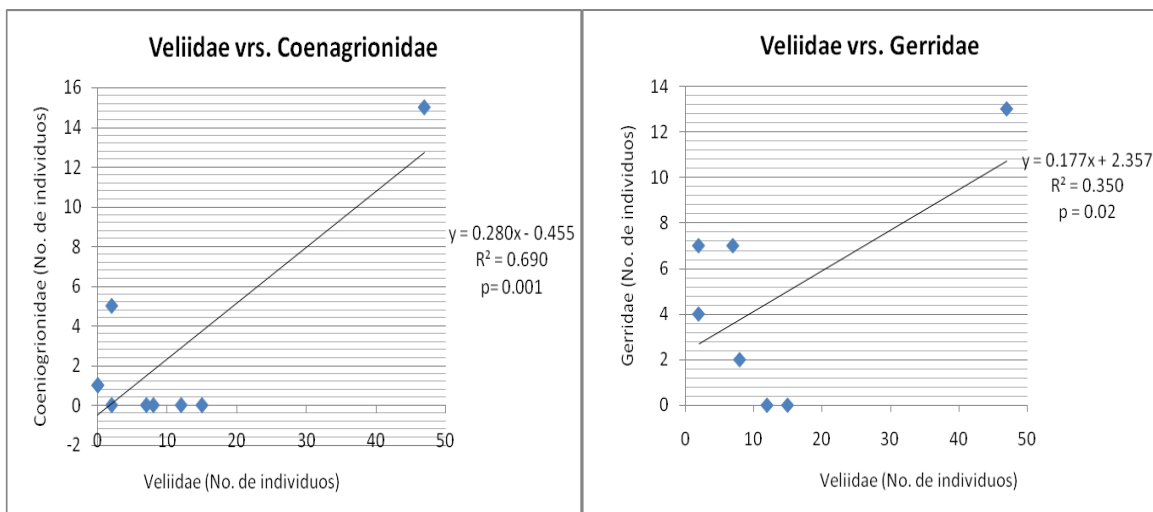


Figura 37. Correlación entre las familias de macroinvertebrados acuáticos de las muestras de agua colectados en el Altiplano Central: Corixidae y Belostomatidae

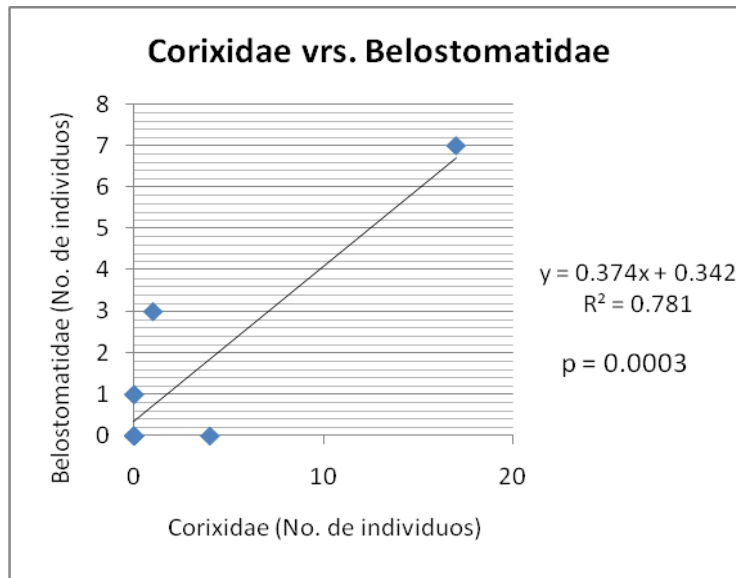
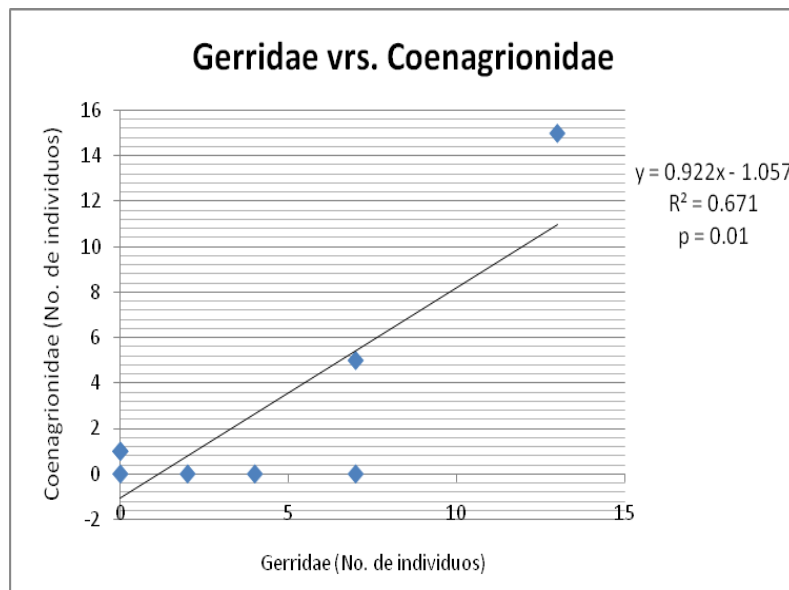
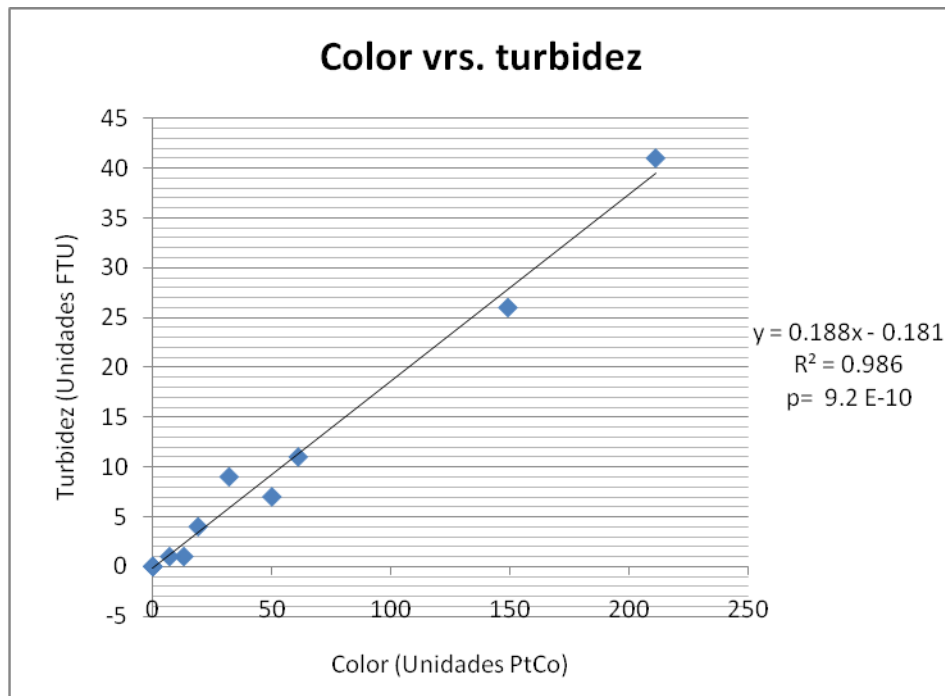


Figura 38. Correlación entre las familias de macroinvertebrados acuáticos de las muestras de agua colectados en el Altiplano Central: Gerridae y Coenagrionidae



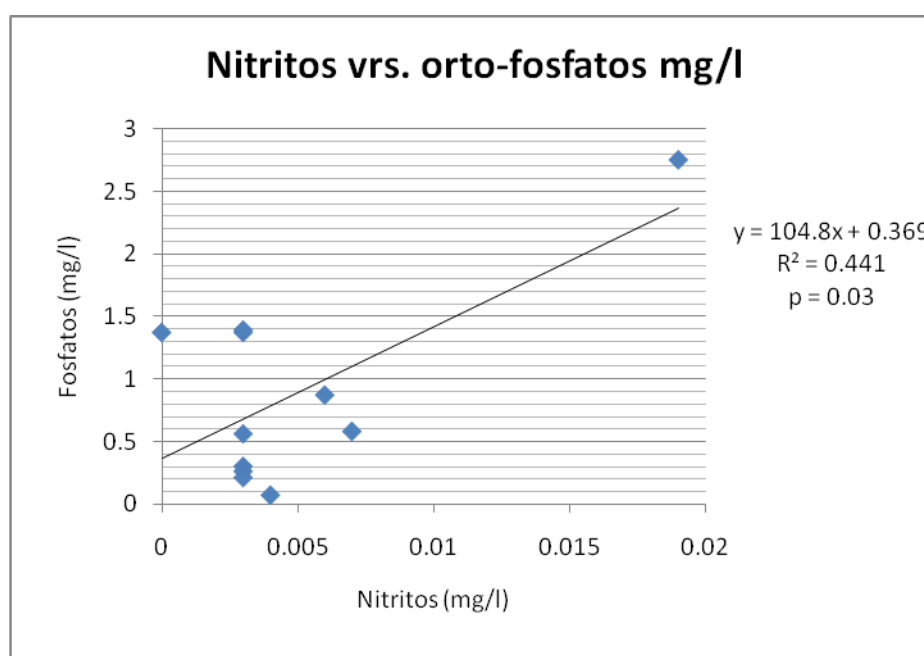
En cuanto a los aspectos fisicoquímicos se encontró una correlación positiva entre los factores de color y turbidez del agua. Para este caso las muestras con coloración alta presentan a la vez alta turbidez ($p= 9.2 E^{-10}$) (Figura 39).

Figura 39. Correlación entre color y turbidez de las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central.



Entre las concentraciones de nitritos y fosfatos se encontró una correlación positiva, entendiendo que la presencia de nitritos está asociada con la presencia de fosfatos en las muestras de agua ($p = 0.03$) (Figura 40).

Figura 40. Correlación entre nitritos y orto-fosfatos de las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central



E. Posibles fuentes de perturbación de los hábitats acuáticos.

En los sitios seleccionados en el estudio, la mayoría presentaban factores que constituyen posibles fuentes directas de perturbación para los cuerpos de agua. En el Cuadro 22, se observa que varios de estos sitios se encuentran cercanos a cafetales, ganadería o presentan el desfogue de aguas residuales. De los 34 sitios, 12 se encuentran con presencia de ganado; 8 presentan algún tipo de cultivo, en su mayoría cafetales; y 5 de los sitios cuentan con desfogue de agua residuales visibles. Por otro lado se encontraron

puntos donde no se observaba fuentes obvias de posible perturbación, para el área del Altiplano, cinco de los sitios presentaban bosque en los alrededores (Cuadro 22).

Cuadro 22. Posibles fuentes de perturbación de los sitios de colecta en el Altiplano Central, año 2009.

Sitio	Lugar	Muestra	Información
1	Agua Escondida, Chichoy, Chimaltenango 07/09	*M1. Nacimiento	Bosque secundario y pastizal
		M2. Arroyo	Ganado
		*M3. Estanque	Bosque
		M4. Laguna Chichoy	Ovejas
		*M5. Río Motagua	Carretera
2	Finca Filadelfia, Sacatepéquez. 08/09	*M6. Charco	Bosque nuboso
		M7. Riachuelo 1	Cafetales
		M8. Riachuelo 1 abajo	Cafetales
		M9. Riachuelo 2	Cafetales
		M10. Tanque	Cafetales
	*M11. Riachuelo 3	Cafetales, aguas residuales	
3	Chinique, Las Vigas, Quichè. 08/09	M12. Las Vigas.	Ganado
		*M13. Río Cucabaj	Aguas residuales, cultivos, bosque y pastizal
		M14. Chinique, Quichè	Ganado
		M15. Nacimiento	Ganado
		M16. Laguna Lemoa	Aguas residuales
		M17. Lugar de Ranas	Ganado
	*M18. Pantano de Escuela	Ganado, cerca de poblado	
4	El Chol, Baja Verapaz. 08/09	*M19. Quebrada	Ganado, Pastizal
		M20. Riachuelo arriba quebrada	Ganado
		M21. Río El Astillero	Ganado
		*M22. Quebrada casa de teja	Ganado
		M23. Agua Caliente	Municipalidad
	Granados, Baja Verapaz 04/09	M24. Río Concua	Puente
		*M29. El Astillero	Ganado, Pastizal y bosque
5	Santa Isabel, Salamá, Baja Verapaz. 05/09	M25. Nacimiento	Bosque
		*M26. Riachuelo 2	Pastizal , Plantación forestal
		M27. Río en camino	Cultivo de maíz y bosque
		M28. Río Salamá	Agua residuales
6	San Cristóbal, Alta Verapaz. 04/09	M30. Agua de turbinas	Río Chixoy
		M31. Riachuelo 2	Cafetales
		M32. Bocatoma 5 m.	Presa
		M33. Bocatoma 10m.	Presa
	M34. Laguna Chichoj	Agua residual	

IV. DISCUSIÓN

A Índices bióticos.

El Cuadro 20 muestra los resultados obtenidos de los cuatro índices bióticos utilizados en el estudio (BMWP-CR, IBF-SV, EPT/C y PTI). Se observa que las deducciones sobre la calidad de agua de las muestras analizadas; dadas por los cuatro índices; difieren entre sí. Así mismo se detectan algunas aproximaciones en los pronósticos; observando que los índices BMWP-CR, IBF-SV y EPT/C concuerdan en algunos resultados. Se encontró que el índice EPT/C coincide en su mayoría con el índice BMWP-CR, de igual forma el IBF-SV y EPT/C sincronizan en algunos de los pronósticos obtenidos (Cuadro 21).

Las discordancias entre los resultados obtenidos de los índices, puede ser por las diferentes valoraciones de tolerancia impuestas por cada índice para los organismos ante perturbaciones en el ecosistema acuático. En el caso del índice BMWP-CR, se basa en la cantidad de familias presentes en la muestra, a diferencia del índice PTI que se cimienta en la cantidad de individuos de cada familia. En cuanto al IBF-SV éste es una mezcla de ambos índices en donde toma en cuenta tanto la cantidad de familias y el número de individuos presentes por familia. Por último, el índice EPT/C toma en cuenta únicamente el número de individuos pertenecientes a tres familias de macroinvertebrados, consideradas poco tolerantes a la contaminación (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) y una familia altamente tolerante (Chironomidae).

Todos los índices difieren en la valoración que se le impone a las familias de macroinvertebrados, de igual forma varían en cuanto a las familias que toman en cuenta como indicadoras de contaminación.

Para la creación del índice del IBF-SV, se utilizó como base de evaluación de calidad ambiental de los ríos de El Salvador, el formato del índice BMWP-CR para asignar los puntajes de tolerancia de los grupos taxonómicos de invertebrados acuáticos. Es por ello, que es de suponer que los resultados generados por estos dos índices en este estudio, resulten muy próximos en sus pronósticos.

A pesar de ello en un estudio realizado por Sermiño en el año 2010, se encontró que ambos índices generan resultados muy diversos. Esto se explica ya que el índice IBF-SV separa las comunidades de invertebrados acuáticos que se encuentran en sitios con diferentes niveles de perturbación; a diferencia del índice BMWP-CR que tiende a sobreestimar la calidad ambiental del agua (Sermiño *et al.* 2010). Esto se debe a que el IBF-SV toma en cuenta la abundancia relativa de cada grupo taxonómico, por lo que la riqueza no se ve afectada.

Según el estudio de Sermiño, el índice IBF-SV obtuvo buenos resultados para la evaluación de los ríos de El Salvador, ya que fueron respaldados por los análisis fisicoquímicos realizados por el Ministerio de Ambiente y recursos naturales de El Salvador. Por otra parte en la investigación realizada por Springer y Fernández en el 2008; donde se analizó el efecto del beneficiado del café sobre los insectos acuáticos en tres ríos de Costa Rica, se concluyó que el índice BMWP-CR es una buena medida para reflejar la contaminación orgánica. A pesar que los datos fisicoquímicos establecidos por la ley de Costa Rica no reflejaban el deterioro de los ríos y las comunidades de macroinvertebrados, el índice en este caso sí lo hizo.

Ambos índices han generado buenos resultados al ser aplicados en los países en que fueron creados, a pesar de ello tienden a ser muy distintos en sus pronósticos para aguas tropicales. Para el caso de Guatemala, los resultados obtenidos por ambos índices no necesariamente reflejan la realidad, ya que son índices creados y adaptados en base al contexto de sus países de origen. En el caso del BMWP-CR es un índice que fue

desarrollado para ríos en zonas de vida tropicales y premontanos, pero hay tomar en cuenta que existen grandes diferencias entre la fauna del norte de Mesoamérica y Costa Rica. Por otra parte, se utilizó para esta investigación índices que son aplicables a cualquier tipo de ecosistema, éstos brindan una visión más general del área y pueden ser empleados para evaluaciones rápidas.

El PTI y EPT/C, son índices creados en Estados Unidos. El índice PTI se basa en el concepto de niveles de tolerancia de organismos indicadores a nivel de familia. Éste permite generar información base en lugares donde no hay. De igual forma el índice EPT se fundamenta en la riqueza de organismos indicadores que son altamente sensibles a la contaminación; por lo que incrementan cuando hay buena calidad de agua. Este índice se utiliza para realizar monitoreos rápidos.

Ambos índices evalúan desde una visión más amplia y no son específicos para un área. En la literatura, el índice EPT/C suele ser muy utilizado ya que se basa en la presencia de tres órdenes de organismos altamente sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) y una familia muy tolerante (Diptera: Chironomidae) por ende su pronóstico es un poco más confiable. Luego de una búsqueda en la literatura, no se logró encontrar estudios donde se comparen estos índices o indiquen preferencia de su uso. Para este estudio, los sitios evaluados por los cuatro índices generaron resultados muy diversos; pero se dio preferencia a los resultados obtenidos por el índice EPT/C, ya que resguarda tres taxones altamente sensibles a la perturbación.

Dado que los índices bióticos para este estudio son discordantes en sus pronósticos, es necesario crear uno aplicable para el área; para ello es necesario tener un inventario de macroinvertebrados del sitio y realizar monitoreos constantes, esto permitirá determinar las dinámicas poblaciones. Los datos obtenidos en esta investigación son una base para ello; a pesar que es una evaluación rápida, esto permitió generar una idea de la fauna presente en el área.

En un futuro, el índice EPT/C puede dar pauta a la creación de una guía de campo que permita el monitoreo y pronóstico de la calidad de agua de los ríos; para ello únicamente se necesita la colecta e identificación de macroinvertebrados. Dado que el uso de estos organismos es útil, de bajo costo y su colecta e identificación no es complicada; la guía podría ser utilizada en comunidades por todas las personas de cualquier edad. De esta forma tanto los niños como adultos pueden involucrarse en el monitoreo de los ríos; y a la vez se genera un lazo con el ambiente, lo cual forja la concientización de las personas hacia el ambiente.

B. Factores fisicoquímicos y macroinvertebrados.

Para el área del Altiplano Central, se encontró un total de 30 familias y 14 órdenes de macroinvertebrados (Cuadro 14). La mayor diversidad de familias (entre 10-13) se encontró en el área de Quiché; según la Figura 31 en un rango de altitud entre 1,971 y 2,660 m SNM, se encuentran la mayor diversidad de las familias. Por otro lado la Figura 32 demuestra que entre las altitudes de 1,971 y 1675 m SNM se encuentran más cantidad de órdenes de macroinvertebrados.

En un estudio realizado en los ríos de altitud en el área andina (Loayza, 2010), se indica que los macroinvertebrados son más escasos a grandes altitudes. Esto se explica ya que la cantidad de oxígeno es más escasa, hay mayor exposición ultravioleta y las fluctuaciones de temperatura son superiores; esto conlleva a que las condiciones para la vida acuática sean más difíciles. Si a esto se le agrega la contaminación, el estrés que confronta la fauna acuática es aún mayor.

En cuanto a los resultados de los factores fisicoquímicos presentes en el área, se observa que las concentraciones de nitritos en el área del Altiplano Central, varían entre

0.001 – 0.025 mg/l, una muestra (M6 Charco), se encuentra por debajo del límite de detección (0 mg/l) (Cuadro 13). Naturalmente el compuesto proviene de la erosión o por la nitrificación de desechos nitrogenados de animales, si los valores son altos, se sugiere la contaminación del cuerpo acuífero por materia orgánica o por un exceso de sedimento. En el caso de los nitratos los valores encontrados en la región se encuentran entre 0.03 – 8.8 mg/l, dos de las muestras se encuentran debajo del límite de detección del método (M13 Río Cucabaj y M28 Río Salamá) (Cuadro 13).

En aguas no perturbadas el compuesto se introduce al ecosistema ya sea por erosión o por descomposición de materia orgánica, como serían los casos de los nacimientos de agua. Comparando los valores de nitrato para el Río El Astillero (M29); se observa que las concentraciones del compuesto aumentan durante la época lluviosa (0.03 a 0.8mg/l). Esto puede deberse a que al aumentar el cauce y área del río, el arrastre de sedimento es mayor y por ende la concentración de nitratos y los niveles de color y turbidez también. Contrariamente cuando hay niveles altos de nitratos, se refleja la contaminación del sistema a causa de actividades antropogénicas. Esto puede ser descargas de aguas negras, ganadería o escurrimiento de aguas con alto contenido de fertilizantes provenientes de los suelos con usos agrícolas.

Los valores de fosfato para el área del Altiplano Central se ubican entre 0.01 - 2.09 mg/l, encontrándose la muestra M29, El Astillero; fuera del límite de detección (0mg/l) (Cuadro 11). En aguas naturales el compuesto se encuentra en bajas concentraciones. En áreas con suelos volcánicos o con intervención humana, la concentración es mayor. El exceso de fosfato puede provenir de detergentes, productos agrícolas como fertilizantes o descargas fecales. El sulfato también proviene naturalmente de suelos volcánicos, en el caso del Altiplano Central las concentraciones se encuentran entre 0 – 54 mg/l; estando once muestras debajo del límite de detección (Cuadro 13). Una concentración tan alta como 70mg/l es poco común, pero probablemente refleja contaminación por actividades humanas.

En cuanto a la turbidez, los valores en la región se ubican entre 1 – 182 FTU; encontrándose siete muestras por debajo del límite de detección (Cuadro 13). En los casos donde los valores son altos sugiere la erosión de los suelos con un alto contenido de material en suspensión, tal como se observó en el Río Salamá y Río Motagua. El color se encuentra dentro 4 – 27 PtCo, siendo la más baja un nacimiento, M25 y la más alta el Río Concuá (M24). Una muestra (M28, Río Salamá) se encontró fuera de los límites de detección del método (550 PtCo.) y seis debajo del límite de detección (0 PtCo.). Las diferencias de coloración de las muestras se deben a diferentes factores, como la cantidad de materia orgánica en descomposición, tipos de suelo, entre otros. A continuación se trata a mayor detalle el estado de cada sitio de estudio, tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente.

1. Agua Escondida, Tecpán, Chimaltenango. Para esta área se tomaron en cuenta cinco sitios de colecta, éstas se realizaron en el mes de julio, en época de lluvia. Los resultados demostraron que los niveles de químicos encontrados (Cuadro 13) en las muestras de agua, cumplen con los parámetros preestablecidos por COGUANOR y EPA para agua potable y la vida acuática; con excepción de las concentraciones de fosfatos (0.18 - 0.66 mg/l).

Los niveles de nitritos (Cuadro 13) se encuentran dentro de los rangos 0.001 – 0.007 mg/l, en cuanto a los nitratos se encuentran las concentraciones dentro de los valores 1.4 - 2.1 mg/l. En cuanto a color, los valores se encuentran entre 13 – 60 PtCo, dos de las muestras se encontraron por debajo del límite de detección (M1 Arroyo y M2 Estanque). La turbidez varía entre 1 – 12 FTU, siendo las mismas muestras anteriormente mencionadas con valoraciones por debajo del límite de detección. Las muestras del Lago (M4) y el Riachuelo (M5) presentan en este caso la mayor valoración de color y turbidez, lo cual podría implicar la limitación de luz para los organismos presentes en el cuerpo acuático. El caso de la muestra del lago (M4), no cumple los parámetros permisivos de turbidez para agua potable según COGUANOR y EPA, esto sugiere que existe materia en suspensión o alta erosión en el área. En el caso del pH, éste se encontró entre 7.7- 8.4, los cuales

cumplen con los parámetros establecidos para agua potable según COGUANOR y la EPA (Anexo E).

Los valores de sulfatos son bajos y se encuentran entre 1 – 2 mg/l, las muestras M3 (Estanque) y M5 (Río Motagua) se encuentran por debajo del límite de detección. Las concentraciones de orto-fosfato en las muestras se encontraron entre los rangos 0.18 - 0.66 mg/l, los cuales son relativamente bajos. Un punto interesante de esta área es el nivel de orto-fosfato encontrado en la muestra del Nacimiento (M1) (0.26 mg/L), siendo ésta un nacimiento de agua. Generalmente en aguas naturales el fósforo es mínimo en su concentración (Rojas 2009); en comparación con las otras muestras, esta obtuvo una concentración más alta que el Río Motagua (0.20). Esto puede ser en parte ya que se encuentra en un área de origen volcánico en donde la tierra es rica en fosfato.

Las demás muestras de igual forma cuentan con presencia de orto-fosfatos en baja concentración; siendo la muestra del Lago (M4) el punto con menor concentración para el área. A pesar de ello para aguas naturales la concentración del fosfato es alta. Este punto suele ser un área de cosecha de truchas, por lo que el orto-fosfato puede ser consumido tanto por las plantas acuáticas o los peces presentes. Las posibles fuentes de fosfato podrían ser tanto actividades antropogénicas como el uso de fertilizantes y detergentes o provenir naturalmente de rocas volcánicas.

Dentro del área se colectaron macroinvertebrados en tres sitios, siendo éstos el nacimiento (M1), el Estanque (M3) y el Riachuelo (M5). En el caso de la muestra del Nacimiento (M1), en su mayoría se encontró individuos de la familia Gammaridae (Figura 29), los cuales se alimentan de detritus. El resto de la muestra fue bastante diversa con individuos de los órdenes de: Hemíptera, Lepidoptera, Diptera, Trichoptera, Odonata y Gastropoda (Figura 29).

De igual forma, la muestra del Estanque (M3) obtuvo elevados números de individuos de la familia Gammaridae, la muestra además contenía los órdenes Trichoptera, Plecoptera y Hemíptera (Figura 29), dos de estos órdenes (Trichoptera y Plecoptera) son considerados indicadores de buena calidad. En el punto del Riachuelo (M5), se encontraron dos órdenes distintos: Hemíptera y Amphipoda (Gammaridae), siendo el orden Hemíptera el más abundante de la muestra, organismos tolerantes a la contaminación.

Para la muestra del Nacimiento (M1), los índices BMWP-CR, PTI y IBF-SV denotan contaminación del cuerpo (Cuadro 20). Según el índice EPT/C, el sitio se encuentra con una buena a regular calidad del agua (Cuadro 19). Dado a que este último índice toma en cuenta tres órdenes de organismos muy sensibles a la perturbación, es muy posible que el resultado reflejado por este índice se adapte más a la realidad del cuerpo de agua.

Para la muestra M3, el Estanque, según los índices bióticos BMWP-CR, EPT/C y IBF-SV la calidad del agua es pobre, y este punto presenta contaminación. Esto es contrario al pronóstico del índice PTI (Cuadro 20), el cual indica una buena calidad. Dado a que son tres índices los que indican pobreza en la calidad del agua de este punto, se podría decir que el sitio se encuentra contaminado; esto a la vez se respalda con la alta concentración de fosfatos en el punto. Es importante señalar, que la muestra obtuvo la mayor cantidad de organismos pertenecientes a la familia Plecoptera (2 individuos) de toda el área del Altiplano, siendo ésta una familia muy susceptible a la perturbación. A pesar de esto, el número de individuos encontrados son bajos, por lo que se explica que el sitio se encuentra perturbado.

En cuanto a la presencia de contaminación para la muestra M5, el Riachuelo, ocurre el mismo caso que la muestra anterior. Según los índices bióticos BMWP-CR, EPT/C y IBF-SV la calidad del agua es pobre, pero el PTI indica lo contrario (Cuadro 20). En base a esto se puede decir que el sitio se encuentra perturbado.

Reuniendo estos resultados, la mayoría de los puntos denotan contaminación, algunos puntos se encuentran en peor estado, como lo son las muestras del Arroyo (M1) y Estanque (M3). La presencia de orto-fosfatos en concentraciones altas promueve la idea de la presencia de suelos volcánicos o una contaminación por fertilizantes y detergentes.

2. Finca Filadelfia, Jocotenango, Sacatepéquez. Las colectas para esta área se realizaron en el mes de agosto, durante la época de invierno; seis puntos fueron seleccionados para la realización de muestreos. Los datos recaudados en los sitios reflejaron que los niveles de las concentraciones de químicos encontrados en las muestras de agua, se encuentran dentro de los límites permisibles por COGAUANOR para agua potable y la EPA para la vida acuática (Anexo E); a excepción del orto-fosfato (0.32 - 2.09 mg/l). Dado que el área de estudio se ubica dentro de un territorio montañoso con suelo volcánico, resulta beneficioso el uso del suelo para fines agrícolas, es por ello que es empleado para producción cafetalera. Actualmente su uso primordial cambió a ser un área de turismo y centro de vivienda; estos factores afectan directamente la ecología del área, ya que tanto las actividades agrícolas, domésticas y turísticas impactan los ecosistemas presentes.

Los valores de nitritos encontrados en los sitios seleccionados oscilan entre los rangos de 0.001 - 0.005 mg/l, siendo el sitio Riachuelo (M7) el más alto en concentración (Figura 4). Este punto se ubica a una altitud de 2,073 m SNM y es utilizado principalmente para la producción cafetalera, por tanto, el uso de fertilizantes, insecticidas y herbicidas; entre otros, son rutinarios. Esto a la vez explica la diferencia de concentraciones entre este punto en contraste a los otros sitios, como lo son las muestras Riachuelo 1 Abajo (M8) y Riachuelo 2 (M9); que no cuentan con la presencia de cafetales o ningún tipo de producción agrícola. El punto Riachuelo 3 (M11) tiene un nivel poco elevado a comparación de los otros puntos, pero ello se explica por la misma razón, ya que se ubica en un área cafetalera cercana a un área doméstica.

En cuanto a las concentraciones de nitrato en las muestras (Figura 15), se encontraron dentro de los valores 0.9 - 1.7 mg/l, siendo la muestra del Charco (M6) la muestra con mayor concentración (1.7 mg/l). Este último hallazgo resulta inesperado, debido a que se trata de una poza temporal formada por lluvia, ubicada en el punto más alto de colecta a 2,413 m SNM. El área se conforma por un bosque nuboso; donde no se observa intervención directa de las actividades humanas. El descubrimiento de la presencia de este compuesto en todas las muestras apoya la idea del uso excesivo de fertilizantes en el área, especialmente observando los resultados de la muestra del Charco (M6), un punto relativamente con poca interferencia antropogénica. Otras fuentes pueden ser estiércol de caballos y hojarasca.

Los sulfatos se encontraron entre los rangos de 20 -40 mg/l, de los cuales tres de los puntos seleccionados obtuvieron valores altos (Figura 17). La muestra Riachuelo 3 (M11), se encontró fuera del límite de detección; este resultado puede ser consecuencia de la ubicación, ya que se encuentra en un área altamente impactada por actividades humanas como la agricultura y descargas domésticas. Por otro lado, cuatro muestras se encontraron por debajo del límite de detección: M6 Charco, M7 Riachuelo 1, M8 Riachuelo 1 abajo y M10 Tanque.

Contrariamente, los niveles de orto-fosfatos no cumplieron con los requisitos de la EPA para la vida acuática (Anexo E), las concentraciones encontrada en el área oscilan entre 0.48 -2.09 mg/l (Figura 16). La muestra del Tanque (M10) presenta la concentración más alta, ésta proviene de un contenedor de cemento el cual recibe agua de un tubo plástico subterráneo. Alrededor de este punto el área se encuentra talada; la alta concentración de fosfato en esta muestra puede tener origen de agroquímicos (cafetales cercanos al área) o volcánico.

En cuanto al pH, las muestras se encuentran dentro de un rango básico de 7.2 – 8 (Figura 21), siendo la muestra del Charco (M6) la única fuera del parámetro permisivo para

agua potable (pH 8), establecido por COGUANOR y EPA. El color de las muestras fue variable, encontrándose dentro de los rangos 26 – 211 PtCo. (Figura 18). Todas las muestras no cumplen con los parámetros para agua potable, siendo en este caso la muestra del Charco (M6) la más alta (211 FTU) (Anexo E).

Simultáneamente la turbidez indicó valores que oscilan entre 2 - 41 FTU (Figura 20). Dentro de estos valores las muestras del Charco (M6), Tanque (M10) y Riachuelo 3 (M11) se encuentran fuera de los valores permitidos por COGUANOR y EPA para agua potable y la vida acuática (Anexo E). Dado que el punto del Charco (M6) es agua estancada, era esperado que obtuviera los valores más altos de color y turbidez ya que se encuentra mucha materia orgánica en suspensión y por ende también ácidos húmicos; en cuanto a los casos del Tanque (M10) y el Riachuelo 3 (M11) se observa la intervención directa antropogénica en los sitios.

La colecta de macroinvertebrados en el área, se realizó únicamente en dos puntos, siendo estos el Charco (M6) y Riachuelo 3 (M11). Dentro de los resultados se encontraron cuatro órdenes presentes, siendo: Díptera, Ephemeroptera, Coleoptera y Hemíptera (Cuadro 14). En ambas muestras la mayor cantidad de individuos colectados pertenecen al orden Díptera, en el caso de la muestra del Charco (M6), el medio es perfecto para el crecimiento de éstos ya que no existen corrientes ni predadores, y hay mucha materia orgánica en descomposición.

Comparando los cuatro índices bióticos utilizados (Cuadro 20), se observan diferentes resultados. El índice BMWP-CR y EPT/C indica contaminación del charco, M6, mientras que los índices IBF-SV y PTI reflejan lo contrario. En conjunto con los valores obtenidos de las concentraciones de químicos encontrados en el punto, se puede determinar que existe contaminación. En cuanto a la muestra del Riachuelo 3 (M11), se da el mismo caso que la muestra del Charco, M6, obteniendo tres resultados diferentes de los índices. Los índices BMWP-CR, EPT/C y PTI pronostican contaminación del sitio, mientras que

IBF-SV refleja lo inverso. Para este punto es necesario recordar que el área se ubica en un punto de alto impacto antropogénico, ya que se encuentra rodeado de cafetales y viviendas, por tanto estos factores indican contaminación del Riachuelo 3 (M11).

Los datos obtenidos, apuntan a que los cuerpos acuáticos ubicados dentro del área se encuentran contaminados, posiblemente ya sea por el uso de fertilizantes, insecticidas o deposiciones domésticas.

3. Chinique, Las Vigas, Quiché. Para esta área se tomó siete sitios como puntos de muestreo, las colectas se realizaron en el mes de agosto en época de lluvia (Cuadro 14); todas las concentraciones de químicos encontradas en las muestras se encuentran dentro de los parámetros permisivos establecidos por COGUANOR y EPA, con excepción del orto-fosfato (Anexo E). Según los datos obtenidos, se encontró que los niveles de nitritos se ubican en los rangos 0.002 – 0.014mg/l (Figura 14), siendo la muestra las Vigas (M12) el punto con mayor concentración. En cuanto a nitratos, los valores para el área radican entre 1.2 – 3.9 mg/l; con excepción a la muestra Río Cucabaj (M13), el nitrógeno en estos puntos se encuentra en su mayoría en la forma de nitrato (Figura 15).

Los bajos niveles de sulfato oscilan entre 1 – 6 mg/l, hallando la muestra de las Vigas (M12) con la mayor concentración (Figura 17). Tres de las muestras se encontraron debajo del límite de detección: M18 (Pantano de la Escuela), M17 (Lugar de ranas) y M15 (Nacimiento). Las concentraciones de fosfato para el área se encuentran entre 0.22 – 1.87 mg/l, se observa que en este caso la muestra las Vigas (M12) de manera similar a los nitritos contiene la mayor concentración; es importante señalar de igual forma que los nacimientos del área contienen orto-fosfatos (Figura 16).

Por otra parte el factor color en general se encontró entre 10 – 151 PtCo; estando las muestras las Vigas (M12), Río Cucabaj (M13) y Pantano de la Escuela (M18) los sitios

fuera del parámetro permisible para agua potable. Las Vigas (M12) otra vez cuenta con la mayor valoración (Figura 18). La turbidez se ubicó dentro del rango 2 -29 FTU, de igual forma las muestras anteriormente mencionadas no cumplen con los valores permisibles (M12, M13 y M18) (Figura 19). Por último los datos de pH para el área se encontraron entre 6.6 – 8, siendo las muestras de Las Vigas (M12), Río Cucabaj (M13), Chinique (M14) y Nacimiento (M15) aguas ácidas (pH bajos). Mientras que las muestras: Lugar de Ranas (M17), El Pantano de la Escuela (M18) y Laguna Lemoa (M16) aguas alcalinas (pH altos) (Figura 20).

La colecta de macroinvertebrados se realizó en dos sitios: Río Cucabaj (M13) y Pantano de la Escuela (M18) (Cuadro 14). En el caso de M13, Río Cucabaj, se encontró tres órdenes de macroinvertebrados: Díptera, Hemíptera y Decapoda, siendo el segundo orden (Hemíptera) el que cuenta con una mayor cantidad de individuos (Figura 30). Para la muestra del Pantano de Escuela M18, se encontró 10 órdenes: Diptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Odonata, Amphipoda, Ostracoda, Gastropoda, Acari, Annelidae y Hemiptera, este último fue el más abundante en cantidad de organismos y diversidad (Figura 30).

En cuanto a la presencia de contaminación, los índices bióticos utilizados indican una calidad pobre del agua para el Río Cucabaj (M13) (Cuadro 20). En el caso de la muestra del Pantano de la Escuela (M18), según los índices IBF-SV y BMWP-CR el punto se encuentra muy contaminado, esto es contrario para el PTI y EPT/C que indica poca perturbación del agua (Cuadro 20). Dado a que el índice EPT refleja poca perturbación, se puede deducir que el sitio se encuentra poco perturbado.

Para el área, las muestras: las Vigas (M12), Río Cucabaj (M13) y el Pantano de la Escuela (M18) presentan contaminación. En cuanto a los otros puntos del área, los altos niveles de orto-fosfatos encontrados en las muestras: Las Vigas (M12) y Chinique (M14) (1.84 -2.05 mg/l, respectivamente) indican posible contaminación ya sea por agroquímicos detergentes o desechos humanos.

4. El Chol Baja Verapaz. Para esta área, se tomaron seis sitios como puntos de estudio, los datos colectados se llevaron a cabo durante la época de invierno, únicamente la muestra del Astillero (M21), pudo recolectarse en dos épocas; seca y lluviosa. Los datos obtenidos demuestran que los valores obtenidos para las concentraciones de químicos presentes en las muestras, son aceptables según las normativas para agua potable; con excepción a los resultados obtenidos para fosfatos.

Los valores de nitritos se encuentran entre 0.002 - 0.007 mg/l, siendo la muestra del Motagua (M24) la más alta en concentración (Figura 14). Para nitratos las concentraciones oscilan entre 0.5 - 8.8 mg/l; estos valores indican que el elemento nitrógeno se encuentra en todas las muestras en forma de nitrato (Figura 15). El sulfato se encuentra entre bajo entre 1- 3 mg/l, la muestra del Motagua (M24) de nuevo mantiene la concentración más alta del compuesto (Figura 17); en cuanto a los orto-fosfatos estos se encuentran entre 1.21 -1.67 mg/l, obteniendo la muestra del Río Agua Caliente (M23) la mayor concentración (Figura 16).

Dado que la colecta de las muestras se realizó durante el invierno se explica los bajos niveles de nitritos, nitratos y sulfatos, ya que el aumento del caudal permite la dilución de los compuestos presentes en el agua. A pesar de ello, la presencia de orto-fosfatos es alta (1.21 – 1.67 mg/l). La muestra M29 (El Astillero), fue la única muestra que se encontró fuera del límite de detección (2.75 mg/l).

El área cuenta con valores de pH dentro de los rangos 6.8 - 7.6 (Figura 20), las muestras del Astillero (M21) y Quebrada Casa de Teja (M22) son aguas ácidas; las muestras del Motagua (M24) y La Quebrada (M19) son aguas básicas y la muestra del río Agua Caliente (M23) es neutra. Se podría suponer que existe acidez ya que los bosques

riparios son de suelos ácidos compuestos por bosques de pino, además se encontraron helechos de la especie *Pteridium aquilinum*, los cuales son indicadores de suelos ácidos.

En cuanto al factor color, los valores se encuentran entre 11 - 217 PtCo y la turbidez entre 2 - 38 FTU, ambos factores son altos en las muestras M23 y M24, siendo esta última la más alta (Figuras 20 y 21). Ambas muestras se encuentran fuera de los parámetros permisibles para color y turbidez, según la normativa COGUANOR y EPA (Anexo E). Se encontraron cuatro muestras por debajo del límite de detección para color y turbidez: M19 (Quebrada), M20 (Riachuelo arriba quebrada), M21 (Río El Astillero) y M22 (Quebrada casa de teja).

La muestra del Astillero (M21), un riachuelo ubicado en una zona con presencia de ganado, presentó una alta concentración de orto-fosfatos durante la época seca con una concentración fuera del límite de detección (2.75 mg/l), en el invierno la concentración se diluye a 1.21 mg/l (Figura 16). A pesar que existe una dilución de la concentración de orto-fosfatos en el invierno, la contaminación por el uso de fertilizantes en el punto persiste. El mismo patrón se observa con los nitritos, nitratos y sulfatos en época de invierno, los niveles se ven disminuidos en comparación con las concentraciones alcanzadas durante el verano. Esto a la vez explica los cambios en color y turbidez así como el cambio del pH en época seca (pH 8.6) y época lluviosa (pH 6.8) del cuerpo acuático debido al aumento de la concentración de iones de hidrógeno.

En esta área, las colectas de macroinvertebrados, se realizaron en tres sitios: muestra de la Quebrada (M19), Quebrada Casa de Teja (M22) y El Astillero (M29). Para la primera muestra se obtuvieron cinco órdenes: Trichoptera, Diptera, Ephemeroptera, Odonata y Plecoptera; siendo el primero con mayor cantidad e individuos (Fig. 31). Para la muestra Quebrada Casa de Teja (M22), se encontraron cinco órdenes: Díptera, Trichoptera, Coleoptera, Annelidae y Hemíptera; siendo este último el más abundante en individuos (Figura 31).

En la muestra del Astillero (M29) se encontró cuatro órdenes presentes: Ephemeroptera, Coleoptera, Amphipoda y Hemíptera, éste último compone la mayor cantidad de individuos de la muestra (Figura 31).

Comparando los resultados de los índices, el BMWP-CR y IBF-SV reflejan contaminación del sitio de la quebrada (M19); mientras que el PTI y EPT/C denota lo contrario (Cuadro 20). Dado a que el índice EPT/C contiene especímenes sensibles a la contaminación, es poco probable que exista perturbación en el sitio. Para la muestra de la Quebrada Casa de Teja (M22) los índices BMWP-CR, EPT/C y IBF-SV indican contaminación mientras que el PTI no (Cuadro 20). Debido a que tres índices concuerdan en cuanto al resultado de la presencia de perturbación, dentro de los cuales se encuentra el índice EPT/C; se puede deducir que existe perturbación del área.

Los resultados de los índices BMWP-CR, EPT/C y PTI, indican que el sitio del Astillero M29, se encuentra en muy mal estado habiendo contaminación severa, mientras que el IBF-SV demuestra lo contrario pero indica que hay posibilidad de contaminación orgánica (Cuadro 20). Por ende, los resultados demuestran perturbación del área.

5. Santa Isabel, Salamá, Baja Verapaz. La colecta de datos en el área de Salamá se realizó en época seca en el mes de mayo, los niveles de nitratos, nitritos y sulfatos se encuentran dentro de los parámetros permisibles por COGUANOR y EPA indicando una buena calidad en el agua (Cuadro 13). Para nitritos los valores se encuentran entre 0.003 - 0.025mg/l, siendo la muestra Río Salamá (M28) la más alta; nitratos 1.6 - 3.4 mg/l (M28 fuera del límite de detección) y los sulfatos entre 1 – 8 mg/l siendo la muestra Río en Camino (M27) la más alta en los últimos dos valores mencionados (Figuras 14, 15 y 17).

Las concentraciones de orto-fosfatos oscilan entre 0.01 - 0.2 mg/l; todas se encuentran dentro de las concentraciones aceptables con excepción de la muestra del Río Salamá M28, (0.2 mg/l) (Figura 16). En cuanto a las implicaciones para las muestras dentro de los niveles bajos de fosfato, esto indica que existe menos contaminación por detergentes y fertilizantes.

Los factores de color y turbidez para este sitio se encuentran entre 4 – 105 PtCo y 1 – 182 FTU respectivamente, ambos rangos son altos. La muestra del nacimiento M25, se encuentra por debajo del límite de detección para color (0 PtCo). Por otro lado la muestra Río Salamá (M28) sostiene el valor más alto (color se encuentra fuera del límite de detección); lo que sugiere alto escurrimiento; desviándose de los valores permisibles de la normativa para agua potable y la vida acuática (Anexo E). El pH oscila entre 6.4 - 7.2 siendo la muestra del nacimiento (M25) la única neutra. Las muestras M26, 27 y 28 son muestras de aguas ácidas (Figuras 18, 19 y 20).

Con respecto a la muestra M28, el Río Salamá, obtuvo el resultado mayor de fosfato indicando la presencia de mayor contaminación. De igual forma existe un desequilibrio en los niveles de nitrógeno ya que obtuvo una concentración menor de nitratos que nitritos, esto sugiere que en el momento de muestreo no había actividad de microorganismos que conviertan los nitritos a nitratos.

La colecta de macroinvertebrados se realizó en la muestra Riachuelo 1 (M26) con vegetación en ambos lados. El punto presentó cuatro órdenes: Díptera, Ephemeroptera, Odonata y Hemíptera, siendo éste último el más abundante en organismos (Figura 31). Según los índices IBF-SV y PTI el sitio se encuentra con buena salud y no presenta contaminación, caso contrario demuestra los índices EPT y BMWP-CR. Estos resultados demuestran perturbación en el sitio (Cuadro 20).

6. San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz. Las colectas de muestras en el área se realizaron durante la época de verano en el mes de abril, se tomaron seis muestras, de las cuales tres fueron colectadas en las instalaciones de la hidroeléctrica Chixoy (Cuadro 14). Según las normas de COGUANOR y la EPA, todas las muestras se encuentran dentro de los parámetros para factores químicos, a excepción del fosfato (Anexo E).

Los rangos de concentraciones químicas encontradas en las muestras son: Nitratos 0.04 – 0.12 mg/l, siendo las muestras de las Turbinas (M30), Bocatoma 5m (M32) y Laguna Chichoj (M34) las más altas en concentración; Nitritos 0.01 – 0.17 mg/l, la muestra Bocatoma 5 m (M32) la concentración más alta (0.17mg/l) (Figura 13). Para sulfatos los rangos se encuentran entre 15 -54 mg/l (debajo del límite de detección: M30 Agua de Turbinas y M34 Laguna Chichoj) y los orto-fosfatos 1.28 -2.4 mg/l; siendo la muestra de Agua de las Turbinas (M30) la más alta en concentración para orto-fosfatos, y la muestra Bocatoma 5m (M32) para sulfatos (Figura 16 y 17).

Los rangos de color se encuentran entre 18 – 84 PtCo, siendo la muestra de Agua de Turbinas (M30) y Laguna Chichoj (M34) las únicas fuera de los rangos permisibles para agua potable (Fig. 18). El mismo caso ocurre con la turbidez, en la cual los valores radican entre 5 – 16 FTU (Fig. 19); la muestra de la Laguna Chichoj (M34), presenta la concentración más alta en ambos casos; posiblemente debido a una alta concentración de plancton. El pH se encontró entre 7.6 -10, lo que demuestra basicidad de las aguas del área. En el caso de la Bocatoma 5 m (M32) se encuentran fuera de los parámetros establecidos por las normativas para agua potable en pH, esto sugiere que hay perturbación en el área por intervención humana.

Las muestras colectadas dentro de las instalaciones de la hidroeléctrica fueron: Agua de Turbinas (M30), Bocatoma 5 m (M32) y Bocatoma 10 m (M33). Debido a que la muestra de Agua de Turbinas, M30, es agua residual de las turbinas, se explica la presencia tan alta de turbidez y coloración. Por otro lado, las muestras de Bocatoma 5 m y 10 m, M32 y M34 respectivamente, se colectaron en una laguna artificial en un mismo punto a dos profundidades con 5 metros de diferencia. La muestra con menor profundidad (M32) cuenta con una mayor concentración de nitratos a comparación de los nitritos, lo que indica que posiblemente hay actividad de los microorganismos en la conversión a nitratos.

El mismo caso ocurre a una profundidad de 10 metros (M33) pero la concentración de nitratos es mucho menor que la muestra M32. Esto puede ocurrir si las bacterias son muchos menores en este nivel. En cuanto a las concentraciones de sulfatos ambas muestras tienen valores muy parecidos (54mg/l y 49 mg/l respectivamente), lo mismo ocurre con el orto-fosfato (1.28 mg/l - 1.68 mg/l). La presencia de estos niveles altos indica la contaminación por parte de detergentes, aguas servidas y actividades agrícolas, en áreas de la cuenca arriba. Es importante mencionar que el área alrededor de la represa es bastante seca y se puede observar algunos rastros de cultivos.

Los valores de la coloración en estos puntos no son muy altos, de igual forma se encuentra la turbidez. El pH varía drásticamente entre las profundidades, siendo muy alcalina la muestra Bocatoma 5 m (M32) (Figura 20). Un pH alto puede ser relacionado con actividad de plancton (Wetzel, 2001).

La muestra riachuelo 2 (M31) fue colectada fuera de las instalaciones de la represa cerca de un cafetal, pero se encuentra aledaña al lugar, por ello se explica el alto contenido de orto-fosfato, siendo ésta la muestra con mayor concentración del compuesto en toda el área muestreada. Este punto se encuentra en un paredón vertical sobre el cual en la parte superior se ubican los cultivos, por lo que puede existir la posibilidad de una filtración de

los fertilizantes utilizados hacia el agua muestreada. La presencia de fertilizantes también explica la alcalinidad del agua y su alto valor en la concentración de sulfatos.

Por último la muestra M34 se colectó en la Laguna Chichoj, visualmente la laguna mostraba un mal estado con crecimiento superficial de algas y emanación de mal olor en las orillas. A pesar de tal observación, la presencia de pescadores en el área promueve la idea de una calidad regular del agua ya que todavía hay presencia de peces. Según los datos obtenidos hay una fuerte concentración de fosfato pero no hay sulfatos, por lo que puede argumentarse la existencia de una contaminación por parte de detergentes y agroquímicos. La idea es respaldada, ya que alrededor de la laguna se observó áreas domésticas y cultivos en partes montañosas, a pesar de ser época seca puede darse la infiltración del suelo fertilizado por escurrimientos del riego hacia la laguna o aguas negras provenientes de San Cristóbal Verapaz.

El nivel de nitritos es bajo para el sitio, y es de notar que en comparación con las concentraciones de nitratos, los nitritos son aún más bajos; lo que indica la conversión de nitritos a nitratos por parte de microorganismos y plantas. En cuanto al color y la turbidez, son valores altos, lo cual es esperado ya que la laguna cuenta con basura sólida y descarga de desechos sólidos por parte de las zonas domiciliarias aledañas a la laguna. Todos estos factores mencionados anteriormente indican una alta perturbación del área, el alto crecimiento de algas puede ser un indicador del inicio del proceso de eutroficación de la laguna.

C. Correlación canónica

1. Correlación entre el orden Diptera vs. Culicidae y Chironomidae. Dentro del orden Diptera se encontró que existe correlación significativa ($p= 0.002$) entre la presencia de las familias Chironomidae (Díptera) y Veliidae (Hemíptera). De igual forma existe correlación en la frecuencia entre ambas familias, demostrando que el aumento en número de organismos pertenecientes a la familia Chironomidae, es proporcional a la población de

Veliidae. Ambas familias resguardan especímenes depredadores (Cuadro 15), los cuales tienen ventaja sobre otros al momento de existir limitantes en alimento. Estos pueden alimentarse de otros depredadores; por otro lado son altamente tolerantes a contaminación (pueden ser indicadores de contaminación), ambos factores podrían ser una explicación del por qué las poblaciones de ambas familias se encuentran presentes en este tipo de aguas (Figura 34).

La presencia de la familia Chironomidae de igual forma se correlaciona significativamente con otras familias, siendo estas: Baetidae ($p=0.002$), Coenagrionidae ($p=0.001$) y Gerridae ($p=0.002$). La primera familia pertenece al orden Ephemeroptera, compone de organismos colectores/recogedores (Cuadro 15). Coenagrionidae pertenece al orden Odonata y Gerridae al orden Hemiptera, ambas familias son depredadoras (Figura 34 y Cuadro 15). En el caso de la familia de Chironomidae este puede ser indicativo de contaminación, ya que son altamente tolerantes a la contaminación. Por otro lado las familias de Coenagrionidae y Baetidae son más sensibles a la contaminación, por ello en su mayoría son utilizados como indicadores de buena calidad del agua.

Dado que Coenagrionidae puede abarcar varios nichos en el agua, tiene la ventaja de tener varias fuentes de alimento y a la vez su motilidad le brinda protección ante depredadores. Eso permite que su población tenga ventaja sobre otras familias. En el caso de Gerridae, son organismos depredadores que ocupan la parte superficial del cuerpo de agua, representa para ellos ventaja al momento de tener acceso al alimento; ya que los organismos que depredan son independientes del sistema acuático y su calidad.

También existe correlación en la frecuencia de Coenagrionidae y Chironomidae. De igual forma que el caso de Veliidae, el número de individuos pertenecientes a la familia Chironomidae es directamente proporcional al número de individuos de la familia Coenagrionidae.

La estadística demostró por otro lado, con un nivel de confianza del 95%, la correlación en presencia y frecuencia entre las familia Culicidae y Baetidae ($p=0.001$). La correlación es proporcional en número, esto significa que cuando hay aumento en la población de una familia, se observa también un aumento en el número de individuos en la población de la otra familia. (Culicidae: Colector-filtrador y Baetidae: Colector-recogedor) (Figura 35 y Cuadro 15).

El color ($p=0.003$) y la turbidez ($p=0.001$) equivalentemente se correlacionan significativamente con la presencia de Culicidae. Si hay alta turbidez y coloración del agua, también hay mayor número de individuos, esto proporciona un medio apropiado para Culicidae. Este medio representa ventajas para tales organismos ya que brinda tanto la protección contra depredadores al hacerse poco visibles, y se encuentra una alta cantidad de materia en suspensión, de la cual se alimentan los culícidos (Figura 35).

2. Correlación entre el orden Hemiptera: Corixidae, Veliidae y Gerridae. Dentro del orden Hemíptera existen varias correlaciones entre las propias familias. La familia Corixidae tiene una correlación en presencia con Belastomatidae ($p=0.0003$); mientras sea alta la población de Corixidae, la de Belastomatidae será también. Ambas familias son depredadores y altamente tolerantes a los ambientes contaminados, por ello puede ser que se encuentren presentes en aguas con organismos también tolerantes a la contaminación (Figura 37 y Cuadro 15).

En el caso de la familia Veliidae, se encontró correlación significativa con Coenagrionidae ($p= 0.001$) y Gerridae($p=0.02$) tanto en presencia como en frecuencia. La frecuencia de la población de Veliidae afecta proporcionalmente las dos familias de hemípteros anteriormente mencionados. Todas estas familias son depredadores (Cuadro 15), tienen ventaja sobre otros al momento de encontrar diversas fuentes de alimento y ser tolerantes a los ambientes hostiles, como la presencia de contaminación (Figuras 36).

La familia Coenagrionidae también se encuentra correlacionada tanto en presencia y frecuencia con la familia Gerridae ($p=0.01$); entre más gerridos se encuentren en el sitio, más alta será la población de Coenagrionidae (Figura 38).

3. Correlaciones con los factores fisicoquímicos. No se encontró correlaciones significativas entre los factores fisicoquímicos propios del agua y los macroinvertebrados; pero si se halló correlación significativa entre la coloración y la turbidez del agua ($p=9.2 \times 10^{-10}$), entre más color encontrado en el agua más turbia fue. En aguas naturales, ciertos colores pueden indicar presencia de contaminación, y esto puede ser afectado por la presencia de materiales insolubles en suspensión. En este caso se encontró que las aguas más turbias presentaban más coloración y viceversa (Figura 39).

De igual forma se encontró correlación significativa entre el nitrito y el fosfatos ($p=0.03$), entre más concentración de nitrito en el agua, más fosfato había (Figura 40). La correlación entre estos dos compuestos indica que existe definitivamente perturbación directa por parte de las actividades antropogénicas como la descarga de agroquímicos en el agua. También puede ser afectado por condiciones anaeróbicas causadas por el alto consumo de oxígeno por algas o bacterias, que afectan la concentración de estos compuestos.

D. Fuentes de perturbación.

Tanto los resultados fisicoquímicos, como los índices bióticos reflejan en su análisis que la mayoría de los sitios presentan alguna perturbación. Como se observa en el Cuadro 21 las principales fuentes de perturbación para los sitios son el desfogue de aguas residuales y actividades agrícolas y ganaderas.

La ganadería introduce a los ecosistemas acuáticos grandes cantidades de nitratos y nitritos. Además es una actividad que limita el crecimiento y desarrollo de las poblaciones vegetales

naturales, debido a que los animales necesitan de grandes extensión para pastar, por lo que las áreas de uso ganadero son deforestadas. La ganadería, por ende, no afecta únicamente al recurso agua a nivel de perturbación directa (ingreso excesivo de nutrientes al cuerpo hidrográfico que promueven el crecimiento excesivo de algas), pero limita la cantidad y su disponibilidad tanto para las poblaciones humanas como para los sistemas de sistemas vegetales aledaños al cuerpo acuático.

En el caso de los cultivos, ocurre el mismo efecto de la ganadería: ingreso excesivo de nutrientes a cuerpos hidrográficos ya sea por escurrimiento o filtración de fertilizantes hacia el suelo, disminución de la captación hídrica por la deforestación y la erosión de los suelos. En este caso el ingreso de otros nutrientes provenientes de agroquímicos como orto-fosfatos, nitratos y nitritos es aún mayor.

Las descargas de aguas negras, proveen a los cuerpos acuáticos una alta dosis de nutrientes. Esto implica que el agua se vuelve un medio perfecto para el crecimiento tanto de plantas acuáticas, proliferación de bacterias fecales (*E. coli*) u otros organismos nocivos para la salud humana. Todas estas fuentes de perturbación generan una alta presión sobre los ecosistemas; ya que afectan directamente al recurso hídrico, a las poblaciones vegetales, comunidades faunísticas y poblaciones humanas.

Al observar el conjunto de datos generados en este estudio: propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos acuáticos; se pudo tener un mejor entendimiento del estado y salud en ese momento de los sitios en investigación. Dado a que este estudio fue un diagnóstico, un estudio rápido, era necesario contar con variables simples que al momento de aplicarse produjeran resultados rápidos y próximos a la realidad.

Los datos obtenidos brindaron una visión integradora del sistema hídrico, ya que por ser un ecosistema, todos los componentes evaluados en la investigación: propiedades

físicas, nutrientes, poblaciones de macroinvertebrados; se ven afectados entre ellos. Al tener un entendimiento de las dinámicas del sistema en estudio, es posible determinar potenciales fuentes de perturbación, en este caso, que afecten a la calidad del agua.

Para este estudio la hipótesis planteada fue aceptada; los macroinvertebrados son una herramienta útil al momento de realizar un diagnóstico del estado del agua para el área del Altiplano Central. Los factores fisicoquímicos permitieron crear una idea de las características del cuerpo acuático y los niveles de nutrientes que se encuentran presentes en el agua. Al introducir los macroinvertebrados a este cuadro, se tiene la ventaja de que pueden ser utilizados como indicadores de posibles perturbaciones, ya que son organismos tolerantes o intolerantes ante cambios en el sistema acuático.

V. CONCLUSIONES

El área del Altiplano Central de Guatemala resguarda varios cuerpos hidrográficos de gran importancia para la región. Dado a los resultados obtenidos tras una serie de análisis químicos, físicos y biológicos; se puede concluir que el agua del área en estudio se encuentra en un estado no óptimo

La determinación de las concentraciones de nutrientes y factores físicos de las muestras de agua colectadas en el Altiplano Central, fue posible al momento de utilizar espectrofotometría HACH. Esto a la vez, permitió dilucidar el estado actual de los cuerpos de agua (en general se encuentran en un estado no óptimo) y sus posibles fuentes de perturbación. Entre éstas se encuentra que el área confronta problemas ocasionados por actividades antropogénicas, dándose la perturbación de los cuerpos hidrográficos por actividades agrícolas (ganadería y cultivos) y domésticas (descarga de aguas residuales). Las altas concentraciones de orto-fosfatos encontrados en la mayoría de los sitios respalda la noción de contaminación, de igual forma los índices bióticos establecieron el mismo resultado (perturbación) para todos los sitios.

El uso de macroinvertebrados como herramienta de investigación promovió buenos resultados para este estudio, por lo que la hipótesis planteada para esta investigación es aceptada. El uso fácil y bajo costo de esta herramienta, son una gran ventaja ante la implementación de otras herramientas de análisis en el tema de agua. El inconveniente con ésta, es la poca información existente en Guatemala sobre las especies presentes en nuestros ecosistemas acuáticos; por lo que la carencia de un índice biótico aplicable a la realidad guatemalteca promueve resultados confusos.

Los índices bióticos utilizados para el estudio representaron un reto, ya que los pronósticos generados a través de éstos fueron discrepantes entre sí. Por ende se le dio preferencia a los resultados generados por el índice EPT/C, ya que evalúa la salud del agua en base a tres órdenes de macroinvertebrados poco tolerantes a perturbaciones. Además es una herramienta que es muy utilizada al momento de realizar estudios rápidos, lo cual se suscribe a esta investigación.

Por último, no se encontró correlación entre los nutrientes presentes en los cuerpos de agua en estudio con las poblaciones de macroinvertebrados. A pesar de ello sí se encontró que existen correlaciones significativas al 95% de nivel de confianza, entre las diversas familias de macroinvertebrados; de igual forma estas familias se ven afectadas por factores físicos como la turbidez y la coloración del agua. Por otro lado, se encontró que la turbidez se relaciona con la coloración de los cuerpos acuáticos, y que existe una relación significativa entre las concentraciones de nitritos y orto-fosfatos en las aguas del Altiplano Central.

VI. RECOMENDACIONES

Dado que este estudio fue un diagnóstico realizado para entender el estado actual del área en estudio, se recomienda planificar un monitoreo a largo plazo de los puntos de estudio en diferentes épocas del año (época seca y lluviosa). Esto permitirá generar una base de información que dará a comprender la dinámica de estos ecosistemas; y por tanto conllevará a la planificación de manejo y uso responsable del agua.

De igual forma es aconsejable brindar otras herramientas a la investigación, tales como: Análisis bacteriológico (Coliformes totales y Coliformes fecales, *Escherichia coli*), otras pruebas físicas (conductividad, temperatura, velocidad del caudal, volumen del caudal, sólidos disueltos, oxígeno disuelto y dureza). Esto brindará apoyo e integración a la investigación, generando resultados concretos que ayudarán a la formulación de proyectos futuros. La suma de factores de medición, pueden ser de alto costo, por lo que es recomendable buscar herramientas fáciles, accesibles y de bajo costo.

Es importante focalizar investigaciones más complejas a partir de los datos obtenidos. En el caso del uso de macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación, es necesario continuar los estudios en diversas épocas del año. El uso de estos organismos debe ser mayor, ya que es una buena herramienta de bajo costo, que permite observar tanto las dinámicas en la ecología de un sistema como el estado actual.

VII. BIBLIOGRAFÍA

A. Páginas de internet:

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2005. Anuario Estadístico Ambiental. Última actualización 22 de febrero 2008. Guatemala.
<http://www.ine.gob.gt/index.php?view=article&catid=43:medioambiente&id=81:anuarioestadisticoambiental2005>

Sanders, C.R. 2004. Carmel River Watershed Conservancy report. Última actualización 07 Marzo 2010. California Estados Unidos.
http://www.carmelriverwatershed.org/WA/mpwmd_wa.html

Environmental Protection Agency (EPA). Drinking water contaminants.” Estados Unidos de América. Última actualización: Mayo 2009.
<http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#1>

Municipalidad de Santa Cruz El Chol, Baja Verapaz. 2010. Servicio de Información Municipal, Guatemala. Última actualización: 9 de Junio de 2010.
<http://www.inforpressca.com/santacruzdelchol/cultura.php#>

Municipalidad de Tecpán, Chimaltenango. 2010. Servicio de Información Municipal, Guatemala. Última actualización: 9 de Junio de 2010.

<http://www.inforpressca.com/tecpan/>

Municipalidad de San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz. 2010. Servicio de Información Municipal, Guatemala. Última actualización: 9 de Junio de 2010.

<http://www.inforpressca.com/coban/ubicacion.php#>

Municipalidad de Chinique, Quiché. 2010. Servicio de Información Municipal, Guatemala. Última actualización: 9 de Junio de 2010.

http://www.inforpressca.com/chinique/medio_ambiente.php

B. Literatura publicada:

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 1999. *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. 50pp.

Calderón L.T. 2009. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala. *Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología. Efecto del microhabitat generado por el sustrato sobre la abundancia y distribución de macroinvertebrados en el río Calix, biotopo Chocón Machacas, Livingston Izaba.* 63 pp.

Centro de Estudios Ambientales (CEA). 2009. *Diagnóstico ecológico y social del altiplano central de Guatemala.* Universidad del Valle de Guatemala/The Nature Conservancy. Guatemala. 162 pp.

Espino G., S. Hernández y J.L. Carbajal. 2000. *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores).* Plaza y Valdés. México. 633 pp.

EPA. 1997. *Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Draft*. Documento #EPA 841-B-97-003. 227 pp.

http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/stream_index.cfm

Fewtrell, L. y J. Bartram. 2001. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization (WHO). IWA Publishing. London, UK.

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_7.pdf

Hernandez, M. P. 2004. *Orientación psicosocial a las madres y a los niños afiliados al proyecto Las Rosas del municipio de Jocotenango, sobre repitencia escolar*. USAC. Guatemala. 98 pp

Herrera, K. 1999. *Indicadores de la calidad de agua del río Polochic y de la integridad biológica del lago de Izabal*. Tesis de Maestría en Estudios Ambientales, UVG. Guatemala. 98 pp

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2006. *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida, (ENCOVI)*. Guatemala. 57 pp.

Leòn, R. S. 2004. *Diseño geométrico y pavimentación de la carretera a la aldea Vista Hermosa y diseño de las ampliaciones a los puentes Bolaños y La Azotea del municipio de Jocotenango, Sacatepéquez*. Tesis de ingeniería civil, Universidad de San Carlos. Guatemala. 110 pp

Lehninger, A. y M. Cox. 2005. *Principles of biochemistry*, Volumen 1. 4ta edición. Estados Unidos. 1119 pp.

Loayza, R. et.al. 2010. *Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altituted streams*. Environmental toxicology and chemistry. SETAC, USA. 8 pp.

Mafla, M. 2005. *Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 87 pp.

Mardoqueo, C. 2004. *Historia y actualidad de Tecpán Guatemala*. Maestría en docencia universitaria, Universidad de San Carlos. Guatemala. 152 pp.

Merritt, R. W. y K. W. Cummins. 1996. *An Introduction to the aquatic insects of North America*. Third Ed. Kendall/Hunt Publ. Co, Dubuque , Iowa. 862 pp.

Pennak, R. W. 1978. *Freshwater Invertebrates of the United States*, 2nda ed. Wiley-Interscience, Nueva York. 803 pp.

Quiroa, J.C. 2004. *Riesgos geológicos y medidas de mitigación en la cuenca del Río Pensativo y zonas aledañas a la ciudad de la Antigua Guatemala*. Tesis de ingeniería civil, Universidad de San Carlos. Guatemala. 110 pp.

Rojas J. A. 2009. *Calidad de Agua*. 3era edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. 484 pp.

Roldán G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquía. Colombia. 217 pp.

Sermeño *et al.* 2010. *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)*. Proyecto Universidad de El Salvador (UES), Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. Pp 43.

Soto. P. E. 2008. *Análisis de la distribución de macroinvertebrados acuáticos a escala detallada en la Ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 65 pp.

Springer M., D. Vásquez, A. Castro y B. Kohlmann. 2007. *Bioindicadores de la calidad de agua*. Universidad Earth. Costa Rica. 6 pp.

Springer. M y L. Fernández. 2008. *El efecto del beneficiado del café sobre los insectos acuáticos en tres ríos del Valle Central (Alajuela) de Costa Rica*. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 56 (Suppl. 4): 237-256 pp.

Springer M., P. Gutiérrez y D. Vásquez. 2010. *Manual para el estudio y la identificación de macroinvertebrados acuáticos en Centroamérica*. AquaBioLAB S.A. Costa Rica. 35 pp.

Springer. M y P. Gutiérrez. 2010. *Seminario-Taller; Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de aguas superficiales. Biomonitorio acuático en Costa Rica y Centroamérica*. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

The Nature Conservancy. 2007. *Análisis espacial y generación de capas de información para el análisis de vacíos del sistema guatemalteco de áreas protegidas fase III*. Guatemala. 55 pp.

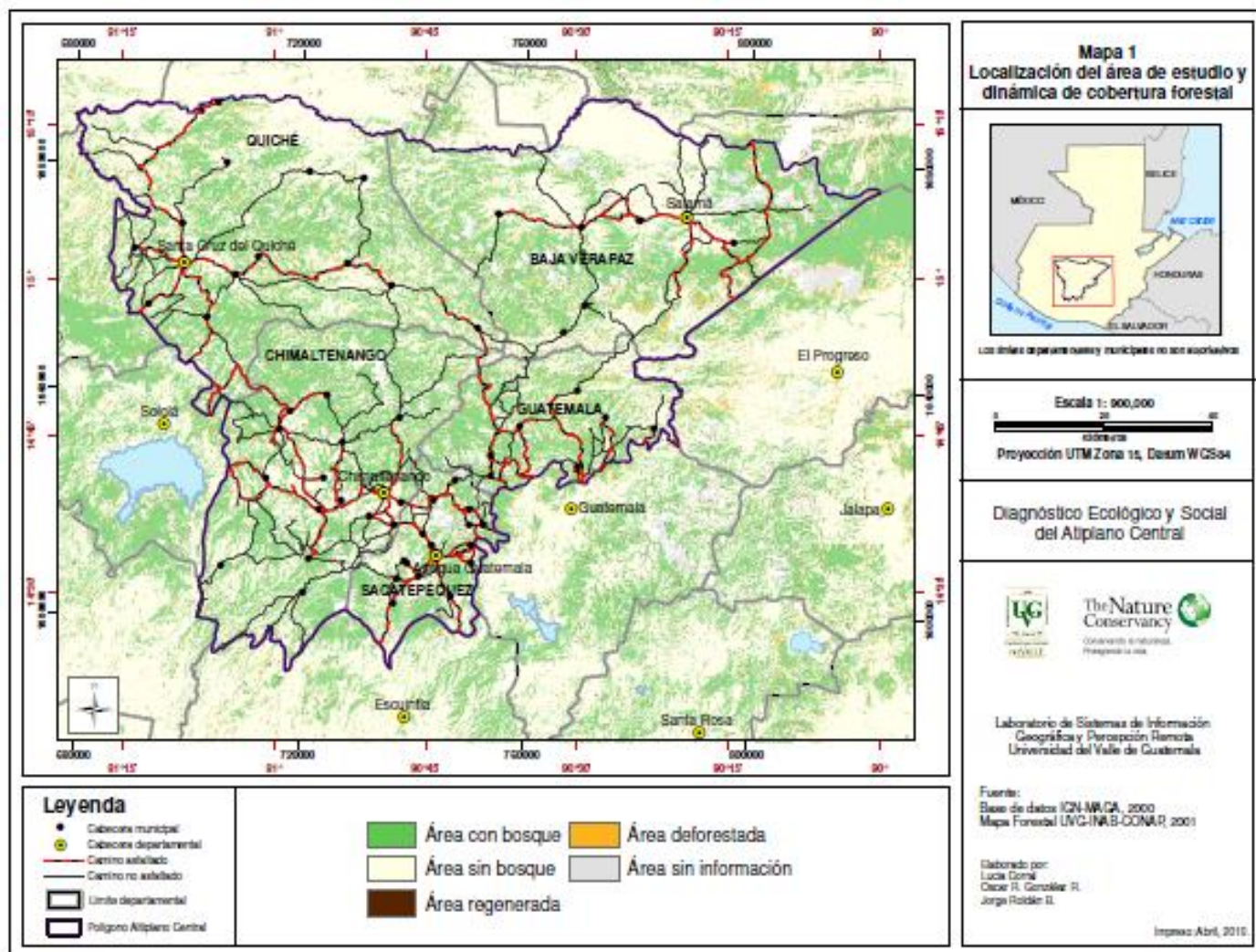
Ward J.V. 1992. *Aquatic insect ecology. Biology and habitat*. John Wiley & Sons inc. USA. 438 pp.

Wetzel R. G. 2001. *Limnology*. Lake and River Ecosystems. Academic Press. Tercera edición. USA. 985pp.

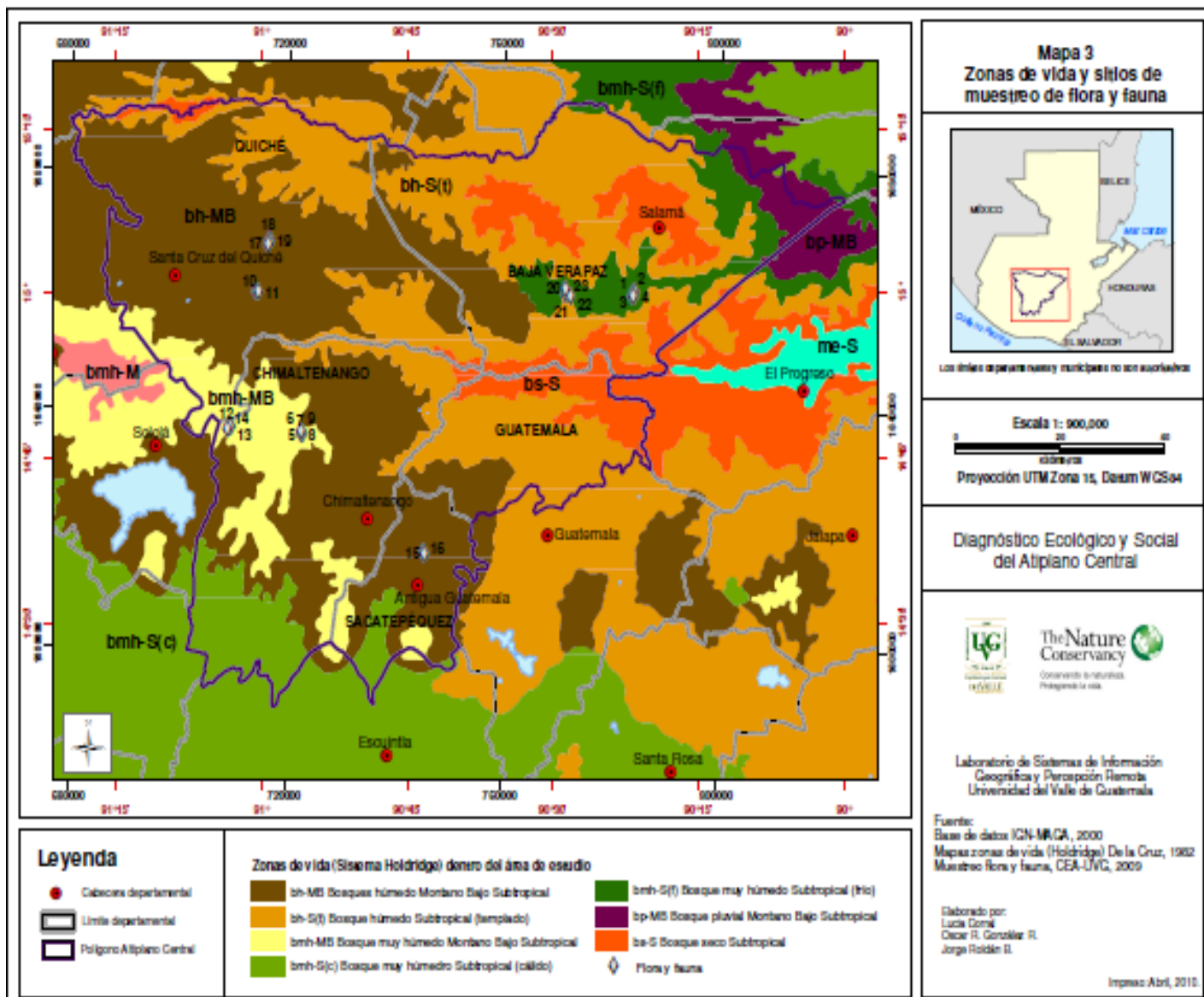
Williams D. D. y B. W. Feltmate. 1992. *Aquatic insects*. CAB international, Redwood Press. UK. 358 pp.

VIII. APÉNDICE

A. Mapa del área y cobertura forestal del Altiplano Central de Guatemala



B. Mapa de zonas de vida, sitios de fauna y flora en el Altiplano Central de Guatemala



C. Listado de equipo utilizado para la investigación.

Equipo de campo utilizado:

- Red de mano
- Bandeja color claro
- Mapa
- Hielera
- GPS
- Cámara fotográfica
- Pinzas entomológicas
- Gotero
- Bolsas plásticas
- Frascos de plástico 1l lavado con 2% de HCl
- Frascos de vidrio de 4 onzas con tapadera de rosca de metal

Equipo para análisis:

- Espectrofotómetro Hach
- Potenciómetro
- Estereoscopio
- Cajas Petri de vidrio
-
- Papel algodón
- Erlenmeyers 50 ml
- Probetas plásticas de 25 ml
- Beakers 50 ml

Reactivos:

- Etanol 95%
- Etanol 75%
- Ácido clorhídrico
- Agua desmineralizada
- Reactivo Hach nitrover 5
- Reactivo Hach nitriver 3
- Reactivo Hach Fosfver 3
- Reactivo Hach Sulfaver 5

D. Clasificación de los grupos alimenticios de macroinvertebrados presentes en los sitios de estudios.

Orden	Familia	Habitos alimenticios
Diptera	Culicidae	c-f
	Sciomyzidae	prd
	Chironominae	prd
	Tipulidae	prd
	Tendipendidae	c-g
	Simuliidae	c-f
Trichoptera	Hydropsychidae	c-f
	Limnephilidae	shr
Ephemeroptera	Baetidae	c-g
	Heptageniidae	scr
Hemiptera	Veliidae	prd
	Gerridae	prd
	Corixidae	prd
	Belostomatidae	prd
	Naucoridae	prd
	Macroveliidae	prd
	Noctonectidae	prd
Coleoptera	Dysticidae	prd
	Limnichidae	c
	Elmidae	scr
Odonata	Coenagrionidae	prd
	Aeschnidae	prd
Amphipoda	Gammaridae	c-g
Decapoda	Potamocarcinidae	shr
Ostracoda	SD	c-g
Acari	Hydracarina	prd
Gastropoda	Lymnaeidae	scr
	Unionidae	c-f
Annelidae	Hirudinea	prd
Lepidoptera	Cossidae	shr
Plecoptera	Perlidae	prd

C-f	colector/filtrador
Prd	predador
c-g	colector/recogedor
shr	tritador
scr	raspador
c	colector

E. Cumplimiento de parámetros fisicoquímicos según normas COGUANOR y EPA

		Cumplimiento según requisitos de COGUANOR para agua potable y EPA para la vida acuática						
Lugar	Muestra	Nitritos <1mg/L	Nitrato <10mg/L	Sulfato 100- 250 mg/L	Fosfato EPA <0.10 mg/L	Color 5 - 35U	Turbidez 5 - 10UNT	pH 6.5-8.5
Agua Escondida, Chichoy, Chimaltenango	M1. Nacimiento	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M2. Arroyo	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M3. Estanque	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M4. Lago	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
	M5. Riachuelo	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Finca Filadelfia, Jocotenango Sacatepéquez	M6. Charco	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
	M7. Riachuelo 1	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M8. Riachuelo 1 abajo	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M9. Riachuelo 2	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M10. Tanque	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí
	M11. Riachuelo 3	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí
Chinique, Las Vegas, Quiché	M12. Las Vigas.	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
	M13. Río Cucabaj	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
	M14. Chinique, Quiché	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M15. Nacimiento	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M16. Laguna Lemoa	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M17. Lugar de Ranas	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M18. Pantano de Escuela	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
El Chol, Baja Verapaz	M19. Quebrada	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M20. Riachuelo arriba de quebrada	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M21. El Astillero	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M22. Quebrada casa de teja	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M23. Río Agua Caliente	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M24. Motagua	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
Salamá, Baja Verapaz	M25. Nacimiento	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	M26. Riachuelo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	M27. Río en camino	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
	M28., Río Salamá	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
San Cristóbal, Alta Verapaz	M29. El Astillero	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
	M30. Agua de turbinas	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí
	M31. Riachuelo 2	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M32. Bocatoma 5 m.	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
	M33. Bocatoma 10m.	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	M34. Laguna Chichoj	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí

*Los valores de fosfato sólo se encuentran para estándares para la vida acuática, dictados por la EPA; COGUANOR no tiene parámetros para agua potable de este compuesto.