

Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico-químicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras¹

Lina Andrea García

CIAT Asistente de investigación,
Proyecto Comunidades y Cuencas
garcial@catie.ac.cr; lingarci@hotmail.com

Francisco Jiménez

CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que los cultivos y asentamientos humanos tienen un impacto negativo en la calidad del agua, al observarse diferencias en algunos parámetros físico-químicos y biológicos en la red hídrica del río Tascalapa. Sin embargo, a pesar de los cambios observados, según el ICA el agua es de óptima a buena calidad y según el BMWP, la calidad biológica del agua es excelente, con aguas no alteradas de modo sensible y con potencial para múltiples usos.

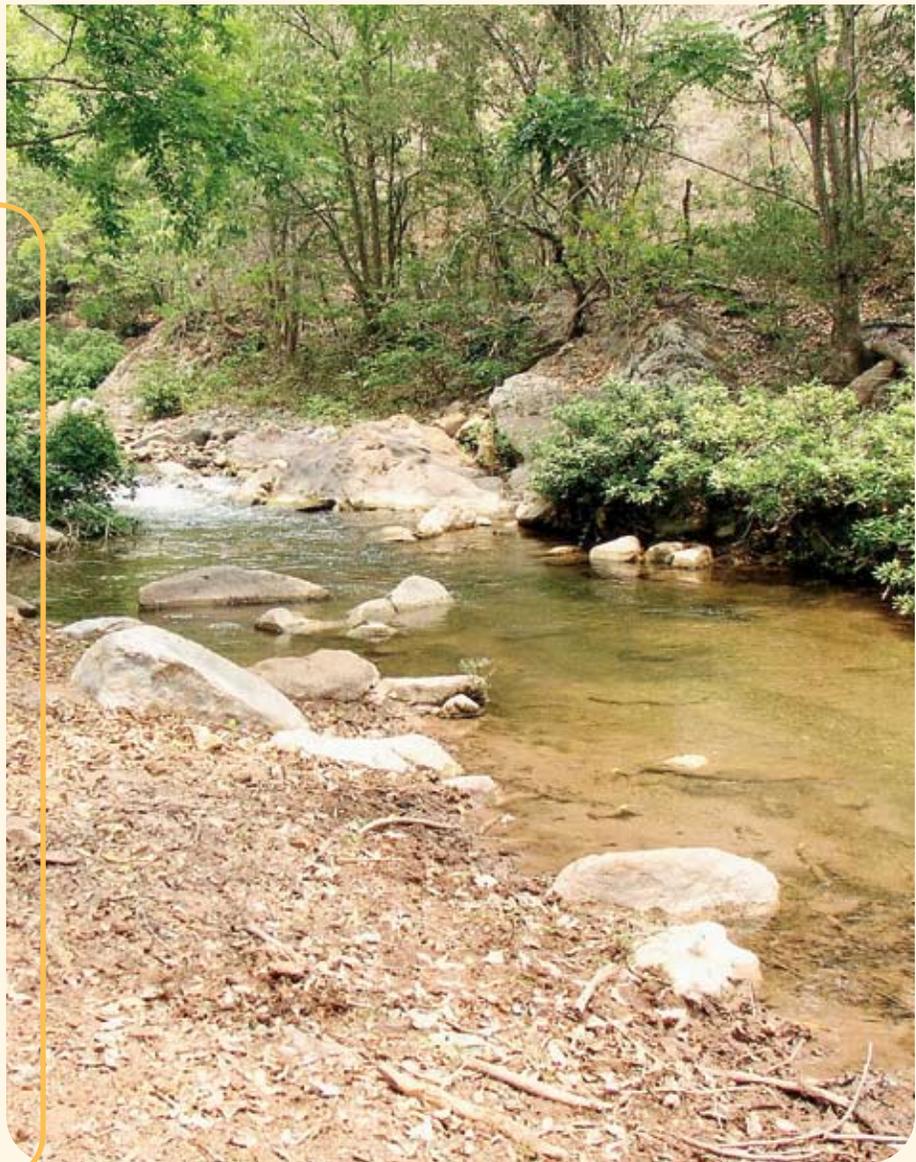


Foto: Lina Andrea García.

¹ Basado en García Obando, LA. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 144 p.

Resumen

Se efectuó una caracterización del estado físico-químico, geomorfológico y biológico en la red hídrica de la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. Los datos fueron colectados en doce estaciones agrupadas en dos escenarios: cuatro estaciones con bosque y ocho estaciones con actividades agropecuarias y viviendas. Las variables biofísicas evaluadas fueron: estado de conservación de la vegetación ribereña, conservación del cauce y riqueza de hábitat en las fuentes. Los parámetros físico-químicos evaluados fueron: oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad (mS/cm), temperatura (°C), turbidez (UTN), nitratos (mg/l), ortofosfatos, pH y coliformes fecales (UFC). Las variables biológicas analizadas fueron valores de abundancia correspondiente a cada uno de los grupos de macroinvertebrados. Los resultados mostraron que los cultivos y asentamientos humanos tienen un impacto negativo en algunos parámetros físico-químicos y biológicos en la red hídrica; entre ellos, los coliformes fecales, el pH y la turbiedad. La interrelación observada entre el índice de uso de la tierra, la calidad física del cauce, el índice físico-químico de calidad del agua y los índices bióticos muestran que los macroinvertebrados son buenos predictores del estado de calidad del agua de las fuentes y pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas.

Palabras claves: Bosque de ribera; cuencas hidrográficas; calidad del agua; polución del agua; macroinvertebrados; organismos indicadores; Honduras.

Summary

Effect of riparian forest and of anthropic activities in both physic-chemical characteristics and benthic macroinvertebrate populations in the Tascalapa river sub-watershed, Honduras.

The physical, chemical, geomorphological, and biological conditions were characterized in 12 sampling stations located in the Tascalapa River subwatershed, Honduras. Sampling stations were grouped into two treatments: four stations were dominated by forest and eight stations by agriculture and human settlements. The variables measured at each sampling station for the physical characterization were: the state of conservation of riparian vegetation, conservation of the channel, and habitat richness at source. The physico-chemical parameters measured were: dissolved oxygen (mg/l), total dissolved solids (mg/l), conductivity (mS/cm), temperature (°C), pH, turbidity (NTU), nitrates (mg/l), orthophosphates (mg/l), and fecal bacteria (UFC/ml). With regard to the biological variables, the abundance of each group of macroinvertebrates was determined. Results showed that crops and human settlements have a negative impact on some physico-chemical and biological parameters; among them: fecal bacteria, turbidity and pH. Interrelationships among the land use index, the physical quality of the channel, the water quality index, and biotic indices show that the macroinvertebrates are good indicators of water quality at source, and therefore could be used as an effective tool to evaluate the impacts of implementing measures for the conservation and restoration of watersheds.

Keywords: Riparian forests; watersheds; water quality; water pollution; macroinvertebrates; indicator organisms; Honduras.

Introducción

Las características físicas y químicas del agua de los ríos son elementos integradores que ayudan a diagnosticar el grado de calidad y a identificar las consecuencias de las prácticas de manejo en la cuenca. Actividades como la agricultura y la urbanización modifican las características de la cobertura vegetal y afectan los patrones de escorrentía y la cantidad de sedimentos depositados en el cauce del río. Dichas características determinan el tiempo de concentración de la lluvia en la red hídrica y la cantidad de flujo dentro del cauce, y pueden tener efectos significativos en la calidad del agua y en la comunidad animal y vegetal del ecosistema lótico (Menzel et ál. 1984, Bain et ál. 1988, Statzner et ál. 1988). Otras de las modificaciones que se producen a gran escala es la alteración en la dinámica de los nutrientes en los ríos (Mishall et ál. 1989), la cual también ocasiona un gran impacto en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Richard y Mishall 1992, Ometo et ál. 2000).

Varios estudios demuestran que las comunidades lólicas responden a cambios producidos en las condiciones ambientales a lo largo del gradiente longitudinal de los ríos. Dichos estudios se concentran en ecosistemas con alta cobertura boscosa en las riberas o en sistemas influenciados por varios contaminantes (Mishall et ál. 1983, Naiman et ál. 1987). Otras investigaciones han demostrado el impacto de la agricultura en los ecosistemas acuáticos (Wiley et ál. 1990, Delong et ál. 1994, Grubaugh et ál. 1996, Young y Huryn 1996). En sitios dominados por pasturas, la influencia de las fuentes de energía terrestre en la estructura y función del río puede verse reducida, ya que la entrada de materiales autóctonos puede ser fuente significativa de energía (Wiley et ál. 1990, Delong et ál.

1994). Sin embargo, la producción autóctona puede disminuir también por efectos acumulativos de las actividades agrícolas, como el incremento de la turbiedad y los depósitos de sedimentos que pueden disminuir la producción de algas (Young y Huryn 1996). Aunque los efectos de la agricultura en las fuentes de energía parecen obvios, los efectos en la función y composición de los macroinvertebrados bentónicos parecen ser menores (Delong y Brusven 1998) y pueden depender de la duración e intensidad de las prácticas agrícolas.

niveles, como la calidad física y química del agua, la estabilidad de los cauces y los organismos acuáticos que allí viven.

El objetivo del estudio fue determinar los efectos del bosque ribereño y las actividades humanas en las características físicas y químicas del agua y en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Tascalapa, Honduras, con el fin de evidenciar algunos servicios ambientales que presta la zona ribereña en la conservación de la calidad del agua.



Foto: Lina Andrea García.

Estación de monitoreo con tratamiento agricultura - viviendas. La actividad antrópica tiene un impacto negativo en la calidad del agua del Río Tascalapa, Honduras

En la zona tropical también se han realizado algunos estudios. En Piracicaba, Brasil, Ometo et ál. (2000) reportan que el mal manejo del uso de la tierra afecta la riqueza de macroinvertebrados. Chara (2002) informa de resultados similares en el departamento del Quindío, Colombia, donde se encontró que los impactos de las actividades ganaderas se evidencian en diferentes

Metodología

Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en la subcuenca del río Tascalapa, departamento de Yoro, Honduras, la cual tiene una superficie de 112,8 km² (CIAT 2000). La temperatura media anual es de 27°C y la precipitación media anual es de 1295 mm, con dos periodos bien establecidos: uno lluvioso (mayo a octubre, 80% de la

precipitación) y otro seco (noviembre a abril, 13% de la precipitación).

La cobertura permanente consiste principalmente del cultivo del café, tanto en monocultivo como con sombra arbórea. Los bosques naturales han sido prácticamente eliminados, solo queda vegetación natural cerca de algunos cauces de ríos y en las laderas muy accidentadas y con pendientes muy fuertes. Además del café, se cultivan granos básicos (maíz, frijol) y en menor escala, cítricos y hortalizas. La mayoría de las familias crían cerdos y gallinas, y en algunos casos, ganadería de doble propósito.

El manejo agronómico de los sistemas de producción agrícola se basa en ronda, chapia y quema del rastrojo. La mayoría de los productores usan agroquímicos, principalmente para el maíz. La siembra se realiza al espeque y se efectúan dos ciclos de producción por año. El área está conformada por 18 comunidades, ubicadas en la zona alta y media de la subcuenca.

Estaciones de muestreo

Se seleccionaron doce estaciones de monitoreo (Fig. 1). Cuatro de ellas presentan un grado muy bajo de influencia antrópica en el uso de la tierra y franjas ribereñas continuas (tratamiento bosque); las otras ocho tienen un mayor grado de influencia antrópica debido a las actividades agropecuarias, las franjas ribereñas son angostas y albergan algunos poblados (tratamiento agricultura-viviendas). El Cuadro 1 resume las características de las doce estaciones de monitoreo. Los muestreos se realizaron mensualmente de marzo a julio del 2003, durante la época seca e inicios de la época lluviosa. En cada campaña mensual de evaluación se visitó cada una de las estaciones de muestreo y se tomaron las muestras requeridas.

Análisis físico-químico y bacteriológico

Las muestras para análisis físico-químico y bacteriológico se tomaron junto con las muestras biológicas en el centro del flujo hídrico del cauce;

se utilizaron frascos de polietileno y de vidrio, según el requerimiento del análisis, y se refrigeraron a 4°C hasta el momento de entregarlas al laboratorio. Los parámetros medidos directamente en el campo fueron: oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad (mS/cm), temperatura (°C), pH, turbidez (UTN), nitratos (mg/l) y ortofosfatos (mg/l). Estas mediciones se realizaron con equipos portátiles HACH: el oxígeno con el Sension 6, los sólidos totales disueltos, la conductividad y la temperatura con el Sension 5, el pH con el Sension 1, la turbidez con el equipo portátil 2100 P y los nitratos y fosfatos con el espectrofotómetro DR/2400. Las muestras para la medición de coliformes fecales (UFC) fueron llevadas al laboratorio y se analizaron según las especificaciones del “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”, edición 17. A partir de los parámetros anteriores, se calculó el índice de calidad del agua (ICA), adaptado de Rojas (1991).

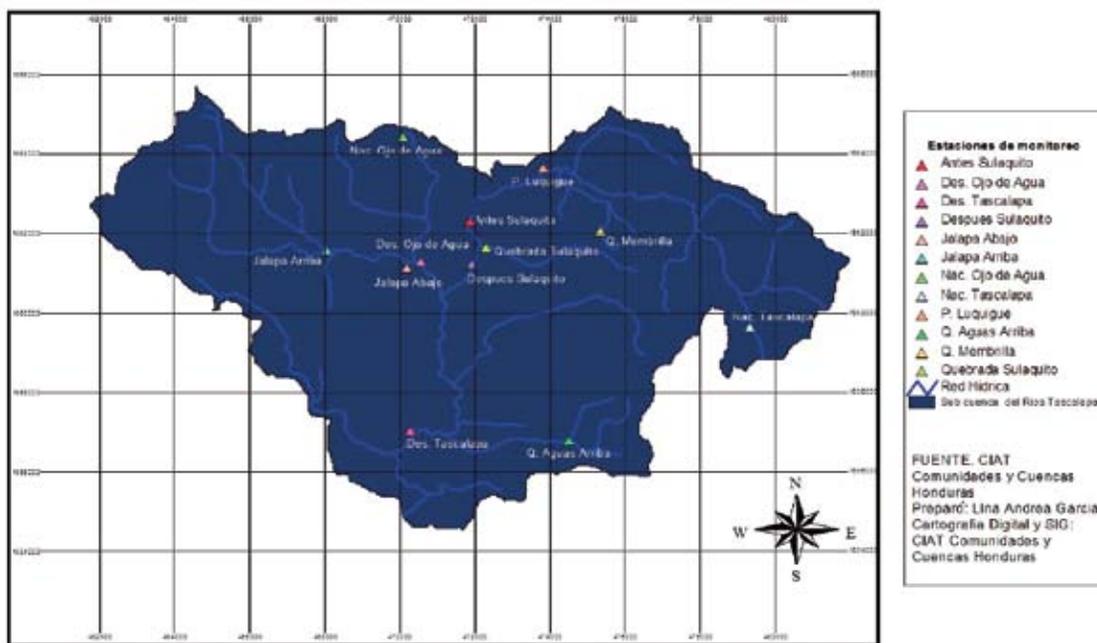


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la subcuenca del Río Tascalapa
Fuente: García (2003)

Cuadro 1. Descripción de las estaciones de muestreo en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Estación de muestreo y uso de la tierra	Altitud (msnm)	Ancho del río (m)	Profundidad del río (m)	Velocidad de flujo (m/s)	Temperatura del agua (°C)	Principal tipo de cobertura vegetal en las riberas	Composición del sustrato del lecho	Formas de uso de la tierra en el área
1. Nacimiento del río Tascalapa Bosque	1130	3,40	0,1	0,51	19,2	Bosque latifoliado continuo, gran proporción de especies nativas	60% grava, 10% troncos, 20% vegetación sumergida, 10% sedimentos	Bosque secundario y continuo; café con sombra
2. Quebrada Membrilla Bosque	786	4,14	0,1	0,32	21,5	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas	30% grava, 30% troncos, 30% vegetación sumergida, 10% sedimentos	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas
3. Nacimiento de la quebrada Ojo de Agua Bosque	781	5,53	0,12	1,13	20,0	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas	20% grava, 20% troncos, 30% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas
4. Quebrada Aguas Arriba Bosque	663	10,20	0,035	0,23	26,0	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas	10% grava, 20% troncos, 35% vegetación sumergida, 35% sedimentos	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas
5. Después del poblado Luquique, en el río Tascalapa Agricultura-viviendas	730	18,41	0,11	1,16	23,3	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol	70% grava, 5% troncos, 5% vegetación sumergida, 20% sedimentos	Bosque ribereño latifoliado; pinos en las áreas alledañas y montañosas; cultivos y poblado Luquique
6. Quebrada Sulaquito Agricultura-viviendas	658	8,46	0,08	0,39	23,1	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	80% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 20% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas
7. Río Tascalapa, antes de la quebrada Sulaquito Agricultura-viviendas	698	13,83	0,24	0,62	24,2	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	70% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas
8. Río Tascalapa, después de la quebrada Sulaquito Agricultura-viviendas	629	13,73	0,27	0,70	22,8	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	70% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas
9. Antes de la desembocadura del río Tascalapa Agricultura-viviendas	530	22,64	0,3	0,64	21,4	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	70% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas

10. Desembocadura de la quebrada Ojo de Agua	631	4,0	0,10	0,91	25,0	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de viviendas, cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	50% grava, 10% troncos, 10% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, asentamientos humanos; bosque de pino y roble en las áreas montañosas
Agricultura-viviendas								
11. Río Jalapa Arriba	713	8,54	0,17	0,35	25,4	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de viviendas, cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	50% grava, 10% troncos, 10% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, asentamientos humanos; bosque de pino y roble en las áreas montañosas
Agricultura-viviendas								
12. Río Jalapa Abajo	672	13,19	0,32	0,40	25,1	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de viviendas, cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	50% grava, 10% troncos, 10% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, asentamientos humanos; bosque de pino y roble en las áreas montañosas
Agricultura-viviendas								

Recolección del material biológico, metodología de laboratorio y variables e índices biológicos

Para la colecta del material biológico se empleó una red manual acuática de 25 cm x 40 cm. Se realizaron tres submuestreos en todos los hábitats disponibles (sedimento, troncos, hojas y vegetación acuática); cada uno tuvo un volumen de 3 l. Las muestras biológicas se guardaron individualmente en recipientes con formol al 5% y se llevaron posteriormente al laboratorio. La separación de los macroinvertebrados bentónicos se realizó con la ayuda de un tamiz de ojo de malla de 2 mm de diámetro, mediante lavados reiterados. Posteriormente se identificaron los organismos al máximo nivel taxonómico posible (clase, orden, familia, género), con la ayuda de claves taxonómicas. El material separado e identificado se preservó en alcohol al 70%, rotulado y guardado en viales de vidrio.

Además de la variable abundancia de cada uno de los grupos de macroinvertebrados bentónicos, se utilizaron varios índices biológicos para describir la estructura y dinámica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el ecosiste-

ma. Como base se utilizó la unidad taxonómica de familia. Estos índices fueron:

- Índice de diversidad de Shannon-Weaver (Mc Cune y Grace 2002)
- Índice de dominancia de Simpson (McCune y Grace 2002)
- Riqueza numérica total de taxa
- Riqueza EPT: riqueza de taxa pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Crawford y Lenat 1989, Plafkin et ál. 1989, Kerans y Karr 1994)
- Índice de pérdida de taxa de Kothe (Schwoerbel 1975)
- BMWP: Biological Monitoring Working Party Score System (Armitage y Moss 1983).

Determinación de índices geomorfológicos

Además de las variables físicas, químicas y biológicas se evaluaron los siguientes índices relacionados con las características biofísicas de los escenarios de muestreo:

- Índice de uso de la tierra en cada una de las estaciones de monitoreo (Ometo et ál. 2000).
- Índice cualitativo de características biofísicas del hábitat acuático ("Habitat Assessment") de la Agencia de Protección Ambiental

de los Estados Unidos (Barbour et ál. 1999), el cual considera los siguientes parámetros: sustratos disponibles para la fauna, perturbación de los hábitats disponibles, velocidad-profundidad del flujo hídrico, deposición de sedimentos, porcentaje de sustratos expuestos, alteración del cauce por dragado o canalización, frecuencia de hábitats o sustratos disponibles, estabilidad del cauce, protección de bordes del cauce por vegetación y ancho de la franja de vegetación ribereña.

Análisis de los datos

Para analizar si hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de estaciones (bosque y agricultura-viviendas) y entre épocas de muestreo, con respecto a las diferentes variables e índices físicos, químicos, biológicos y geomorfológicos, se realizaron análisis de varianza y prueba de Duncan bajo un modelo irrestricto al azar.

Para el análisis de la información de los macroinvertebrados se utilizó el índice de similitud de Jaccard (McCune y Grace 2002), el cual es una medida de distancia que permite observar el grado de similitud de la composición de macroinvertebrados bentónicos entre los dos escenarios

de muestreo. Con base a los resultados de presencia / ausencia de familias, se efectuó un análisis de conglomerados por medio del ligamiento de Ward y el programa “Statistical Analysis Systems” (SAS).

Con el fin de observar el comportamiento de las variables físico-químicas, de los índices bióticos y de la calidad biológica del agua en todas las fuentes monitoreadas y durante las épocas de muestreo, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de una matriz conformada por variables biológicas, físico-químicas y geomorfológicas por estación de muestreo.

Resultados y discusión

Comportamiento de las variables bióticas y abióticas en relación con el uso de la tierra en la subcuenca del río Tascalapa. Estos resultados muestran la tendencia espacial y temporal de los parámetros físicos, químicos, biológicos y geomorfológicos en la sub-

cuenca, con el propósito de evaluar el estado ecológico integral de los cursos de agua con relación al uso de la tierra. El análisis de componentes principales (ACP) mostró que los dos primeros componentes (variabilidad espacial según uso de la tierra y variabilidad temporal) explicaron el 76% de la variabilidad de los datos (Cuadro 2).

El análisis de componentes principales muestra que hay variables que se correlacionan mejor con el componente 1 y otras variables con el componente 2 (Fig. 2). El compo-

nente 1 muestra el gradiente de las estaciones de muestreo con diferente grado de influencia del uso de la tierra. Al lado derecho del componente 1 se agruparon las estaciones cuyo uso de la tierra predominante es bosque, y al lado izquierdo aquellas cuyo uso de la tierra predominante es agricultura y asentamientos humanos. Algunas variables bióticas, como el índice de diversidad Shannon-Weaver, presentaron una mayor correlación con el componente 1 (Cuadro 3), lo que indica que el índice fue mayor en las

Cuadro 2. Porcentaje de la variabilidad explicada por cada uno de los componentes principales

Componentes	Valor	Proporción	Proporción Acumulada
1	14,95	0,53	0,53
2	6,23	0,22	0,76
3	4,31	0,15	0,91
4	1,64	0,06	0,97
5	0,87	0,03	1,00

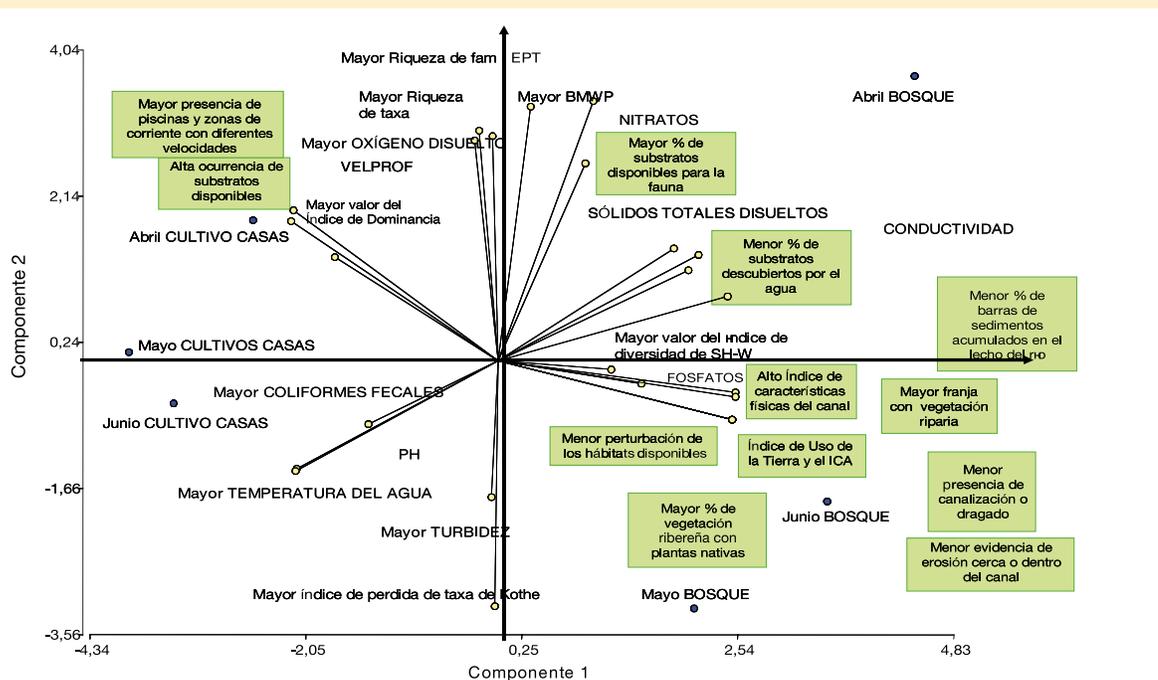


Figura 2. Representación gráfica del análisis de componentes principales para variables bióticas y abióticas, en relación con el uso de la tierra en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras

estaciones con mayor presencia de bosque y menor en las estaciones con mayor grado de influencia antrópica. Lo mismo ocurre con el índice de uso de la tierra, el índice físico-químico de calidad del agua (ICA), el índice físico de características físicas del canal y otras variables más específicas de caracterización física de la red de drenaje.

Estos resultados indican que las estaciones de monitoreo rodeadas de bosque presentaron mejor calidad del agua y varias características geomorfológicas favorables, tales como mayor protección al suelo en comparación con otros usos; franja con vegetación ribereña, alto porcentaje del bosque ribereño con plantas nativas; baja perturbación de los hábitats disponibles del río por sedimentos; poca evidencia de erosión, canalización y dragado en el cauce del río; bajo porcentaje de deposición de sedimentos en el lecho y más del 70% de sustratos disponibles para la fauna, tales como hojarasca, troncos, grava y vegetación. Para estas variables no hubo diferencias entre épocas, solamente entre tratamientos (Cuadro 4).

Algunos parámetros físico-químicos, como la conductividad y sólidos totales disueltos, presentaron valores más altos en las áreas con menor influencia antrópica (Cuadro 5) y mayor correlación con el componente 1 (Cuadro 3). Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 5), estos valores más altos en los parámetros de las estaciones con menor perturbación -principalmente en Membrilla y Nacimiento de Ojo de Agua- se deben posiblemente a las condiciones geoquímicas de la zona. Estudios efectuados por Chara (2002) en afluentes del río La Vieja, suroccidente colombiano, para evaluar las variaciones físico-químicas entre áreas boscosas, cafetaleras y ganaderas, indican que las concentraciones de sólidos disueltos fueron mayores en las quebradas que dre-

Cuadro 3. Correlaciones de las variables físicas, químicas, biológicas y geomorfológicas con los componentes 1 y 2 (variabilidad espacial según uso de la tierra y variabilidad temporal), subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Variables	Componente 1	Componente 2
Índice de diversidad Shannon-Weaver	0,59	-0,06
BMWP	0,11	0,87
ICA	0,98	-0,18
Índice de dominancia de Simpson	-0,69	0,33
Riqueza de taxa	-0,04	0,76
Riqueza de familias EPT	-0,10	0,78
Índice de déficit de taxa de Kothe	0,01	-0,84
Índice de uso de la tierra	0,98	-0,18
Índice de características físicas del cauce	0,99	-0,09
Sustratos disponibles para la fauna	0,35	0,68
Perturbación de los hábitats disponibles	0,98	-0,18
Velocidad-profundidad	-0,88	0,45
Grado de deposición de sedimentos	0,95	0,24
Sustratos expuestos en el cauce	0,78	0,32
Alteración del cauce por canalización o dragado	0,98	-0,18
Frecuencia de hábitats o sustratos disponibles para la fauna	-0,87	0,49
Estabilidad del cauce	0,99	-0,10
Protección de bordes del cauce por vegetación	0,98	-0,18
Ancho de la franja de vegetación ribereña	0,98	-0,18
Nitratos	0,38	0,89
Fosfatos	0,46	-0,01
pH	-0,83	-0,39
Oxígeno disuelto	-0,11	0,74
Temperatura del agua	-0,83	-0,40
Turbidez	-0,03	-0,46
Conductividad	0,83	0,37
Sólidos totales disueltos	0,72	0,39
Coliformes fecales	-0,53	-0,23

nan las zonas boscosas debido a la descomposición constante de hojarasca que aporta ácidos húmicos y otros elementos disueltos al agua.

Volviendo de nuevo a la Fig. 2, al lado izquierdo del componente 1 se observan las estaciones con mayor grado de influencia antrópica en el uso de la tierra. Las variables que

presentaron la mayor correlación en este lado del componente fueron: mayor ocurrencia de hábitats disponibles, mayor presencia de pozas y zonas de corriente con diferentes velocidades, alto valor de índice de dominancia de Simpson, coliformes fecales, temperatura del agua y pH (Cuadro 3). El análisis de varianza

mostró que los parámetros coliformes fecales, oxígeno disuelto, turbidez y pH presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 5).

Las estaciones con mayor grado de influencia antrópica de uso de la tierra se caracterizaron por presentar menores puntuaciones en el ICA, índice de uso de la tierra, índice de diversidad de Shannon-Weaver y otras características geomorfológicas, como mayor porcentaje de sustratos descubiertos por el agua, incremento de la perturbación de los sustratos del río por sedimentación, y disminución del ancho y la composición de la vegetación ribereña. Estas estaciones también presentaron una mayor ocurrencia de hábitat disponibles debido a que, además de haber zonas de alta corriente en el río, hay una mayor heterogeneidad, mayor frecuencia de pozas, grava, acumulación de sedimentos, raíces de vegetación, troncos. El índice de dominancia de Simpson fue también mayor debido a la perturbación antes indicada.

En general la calidad del agua en la red hídrica del río Tascalapa es buena como uso potencial para múltiples usos del agua, según los índices ICA y BMWP. Los valores del índice ICA fluctuaron entre 56,6 y 77,6 unidades y los de BMWP entre 136 y 165 en todas las estaciones de monitoreo.

En relación con el componente 2, este eje mostró el gradiente temporal. Se observó que los índices de calidad biológica BMWP, la riqueza de taxa y riqueza de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera presentaron los valores máximos en época seca (abril), mientras que el índice de pérdida de especies fue mayor al inicio de la época lluviosa (junio) (Cuadro 6). Estos resultados se deben posiblemente a que en la época de lluvias, al incrementarse el caudal, algunos organismos son arrastrados, lo que ocasiona la disminución de algunos índices y el incremento de otros. El análisis de varianza evidenció que no hubo diferencias significativas entre épocas

Cuadro 4. Valores promedio de variables geomorfológicas para los tratamientos bosque y agricultura-viviendas, subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Parámetros	Tratamientos		ANDEVA para tratamientos	
	Bosque	Agricultura y viviendas	F	P(x)<0,05
Índice de características físicas del cauce	207	144	49,42	0,0001*
Sustratos disponibles para la fauna	16	16	0,03	0,8670
Perturbación de los hábitats disponibles	17	12	9,05	0,0053*
Velocidad-profundidad	13	15	2,74	0,1085
Grado de deposición de sedimentos	14	11	5,68	0,0237*
Sustratos expuestos en el cauce	13	12	0,0013	0,9718
Alteración del cauce por canalización o dragado	20	18	4,29	0,0471*
Hábitats o sustratos disponibles para la fauna	16	18	4,72	0,0378*
Estabilidad del cauce	34	21	83,98	0,0001*
Protección de bordes del cauce por vegetación	32	14	28,12	0,0001*
Ancho de la franja de vegetación ribereña	34	7	192,29	0,0001*

Cuadro 5. Valores promedio de variables físicas, químicas y bacteriológicas para los tratamientos bosque y agricultura-viviendas, subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Parámetros	Tratamientos		ANDEVA para tratamientos	
	Bosque	Agricultura y viviendas	F	P(x)<0,05
Nitratos (mg/l)	0,50	0,43	0,20	0,6563
Fosfatos (mg/l)	0,15	0,09	2,44	0,1266
pH	7,52	8,13	63,8	0,0001*
Oxígeno disuelto (mg/l)	6,46	7,05	4,35	0,0435*
Turbidez (UTN)	13,30	16,33	14,29	0,0005*
Conductividad (µS/cm)	318,5	293,8	0,66	0,4229
Sólidos totales disueltos (mg/l)	169,5	160,3	0,37	0,5468
Coliformes fecales (UFC/ml)	3,92	6,11	7,25	0,0033*

ni entre tratamientos para ninguno de los indicadores biológicos: índice de diversidad de Shannon-Weaver, índice de dominancia de Simpson, riqueza de taxa, BMWP, riqueza de familias EPT e índice de Kothe.

Algunas variables físico-químicas presentaron diferencias estadística-

mente significativas entre épocas. La turbidez fue mayor en la época de alta precipitación, probablemente debido al aumento de la escorrentía que provoca el arrastre de limos, arcillas y desechos. Este efecto fue más evidente en las estaciones con mayor grado de influencia antrópica

en el uso de la tierra, pues el grado de protección al suelo no es muy alto y, en consecuencia, aumenta el aporte de sedimentos y desechos producidos por la actividad antrópica y la presencia de microorganismos. A diferencia de los sólidos disueltos totales, la presencia de microorganismos es medida con dicho parámetro (Tebbutt 1999, Mitchell et ál. 1991). La concentración de nitratos, la conductividad y total de sólidos disueltos fue menor en la época lluviosa, debido posiblemente al efecto de dilución por el aumento de la precipitación y el caudal en la red hídrica.

Composición de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados han sido ampliamente usados como indicadores de calidad del agua, ya que brindan información de lo ocurrido horas y días antes de la toma de los datos (Roldán 1992). Los organismos bentónicos recolectados en el río Tascalapa y sus afluentes pertenecen a 10 órdenes, 69 familias y 112 géneros. Los órdenes que presentaron el mayor número de familias fueron Diptera (17), Coleoptera (13), Trichoptera (11), Odonata (10) y Ephemeroptera (6). La abundancia total encontrada fue de 29.604 individuos. Las familias que presentaron las mayores cantidades de géneros fueron: Elmidae (14) del orden Coleoptera; Baetidae (4), Leptophlebiidae (4) y Leptohiphiidae (3) del orden Ephemeroptera; Leptoceridae (3) del orden Trichoptera; Belostomatidae (3) del

orden Hemiptera; Ceratopogonidae (3), Limonidae (4), Tipulidae (3) y Dolichopodidae (3) del orden Diptera. Las demás familias estuvieron representadas por uno o dos géneros.

Grado de similitud de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos entre los dos grupos de estaciones de monitoreo: agricultura-viviendas y bosque

El índice de similitud de Jacard y el análisis de conglomerados (Fig. 3) mostró diferencias significativas entre la fauna acuática asociada a las estaciones con bosque y las que tienen mayor actividad antrópica. En el grupo 2 (estaciones de muestreo con uso de la tierra bosque) se encontraron las siguientes familias: Hydrobiosidae (Trichoptera) con el género *Atopsyche* sp., Dixidae (Diptera) con el género *Dixela* sp., Megapodagrionidae con los géneros *Heteragrion* sp. y *Phylogenia* sp., Lestidae con el género *Lestes* sp. y Polythoridae con *Cora* sp., todas ellas del orden Odonata. En el grupo 1 (estaciones con mayor actividad de agricultura y presencia de viviendas) se encontraron las siguientes familias de insectos acuáticos: Hilopotamidae (Trichoptera), Euthyplocidae (Ephemeroptera), Athericidae (Diptera), Staphilinidae (Coleoptera), Hydrobiidae (Molusca), Oligochaeta (Anelida), y Pisauridae (Arachnida). Las demás familias encontradas estuvieron presentes en ambos grupos de estaciones; estas familias se caracte-

terizan por vivir en aguas con baja influencia de contaminación, tal como lo demuestran los valores del ICA, según los cuales, todas las estaciones de monitoreo presentaron aguas de buena calidad.

Según Ramírez et ál. (*Sometido*), el género *Cora* sp. encontrado en el grupo 2 de estaciones, es propio de quebradas con sombra dentro del bosque, puesto que los adultos al emerger y durante su etapa adulta son sensibles a la luz e intolerantes a la contaminación orgánica. De la Lanza Espino et ál. (2000) los han observado en arroyos sombreados en la selva alta perennifolia en México. Situación similar ocurre con el género *Heteragrion* sp., que según Roldán (1988), se caracteriza por vivir en quebradas que drenan en el bosque y viven en zonas donde abunda la hojarasca. De la Lanza Espino et ál. (2000) expresan que también este es un grupo intolerante a la contaminación orgánica y lo han observado en arroyos rocosos en selvas tropicales y bosque mesofíticos de montaña.

El género *Atopsyche* sp. (Hydrobiosidae, Trichoptera) habita en aguas bien oxigenadas con sustrato pedregoso y poco material vegetal (Ramírez et ál. (*Sometido*), Roldán 1988). Sin embargo, en los resultados obtenidos con este estudio, aunque se apareció en las estaciones con menor grado de influencia antrópica, se observó en áreas con gran abundancia de hojarasca debido a la influencia de la amplia franja de bosque ribereño, pero en zonas con baja perturbación de los sustratos por efecto de la sedimentación. Las demás familias encontradas en el grupo 2 se caracterizan por vivir en hábitat lénticos, una de las condiciones más frecuentemente observadas en la mayoría de estas estaciones. El género *Dixela* sp. (Dixidae, Diptera) habita áreas de arroyos rocosos, ríos de corriente lenta y charcas, adheridos a vegetación y roca (Roldán 1988). Según De la Lanza Espino et ál. (2000), estos organismos ocu-

Cuadro 6.

Promedio de los índices biológicos calculados en la diferentes épocas del muestreo en la cuenca del río Tascalapa, Honduras

Época	Diversidad Shannon-Weaver	Dominancia Simpson	Riqueza de taxa	BMWP	Riqueza EPT	Índice de Kothe
Marzo	1,04	0.18	26	136	9	23
Abril	1,06	0.15	31	165	11	15
Mayo	1,07	0.15	29	150	10	21
Junio	1,11	0.13	29	152	11	22

En sistemas lénticos y son tolerantes a la contaminación orgánica. En cuanto al género *Lestes* sp. (Lestidae, Odonata), se lo encuentra en zonas pantanosas y oligomesotróficas (Roldán 1988), aunque De la Lanza Espino et ál. (2000) expresan que habita en márgenes de sistemas lénticos y lénticos con detritus y sobre hidrófitas vasculares; ambas condiciones fueron observadas en las estaciones del grupo 2, principalmente en Nacimiento Ojo de Agua, Membrilla y Aguas Arriba, las cuales con frecuencia presentan zonas lénticas con abundancia de vegetación acuática.

En cuanto a los géneros encontrados en el **Grupo 1** (estaciones con mayor influencia de actividad agropecuaria y viviendas), *Chimara* sp. (Philopotamidae) habita aguas de poca corriente, oxigenadas, de fondo pedregoso y poco material vegetal; de hecho, sirve como indicador de aguas oligotróficas (Roldán 1988). De la Lanza Espino et ál. (2000) observaron que este género es intolerante a la contaminación orgánica y se caracteriza por encontrarse en ambientes lénticos con aguas cálidas. El género *Euthyplocia* sp. (Euthyplociidae) habita aguas cálidas y zonas arenosas; sirve como indicador de aguas limpias (Roldán 1988). La familia Athericidae habita zonas lénticas, en aguas bien oxigenadas y se clasifican como organismos de aguas oligotróficas (De la Lanza Espino et ál. 2000).

Los organismos del orden Oligochaeta se caracterizan por vivir en aguas eutroficadas, sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus, en zonas donde el oxígeno escasea, ríos contaminados con materia orgánica y aguas negras (Roldán 1988). En este estudio, las estaciones de monitoreo que tenían mayor actividad antrópica, mayor sedimentación, coliformes fecales y turbiedad (resultado de la erosión y descarga de desechos), fueron las estaciones de monitoreo con mayor presencia de oligoquetos.

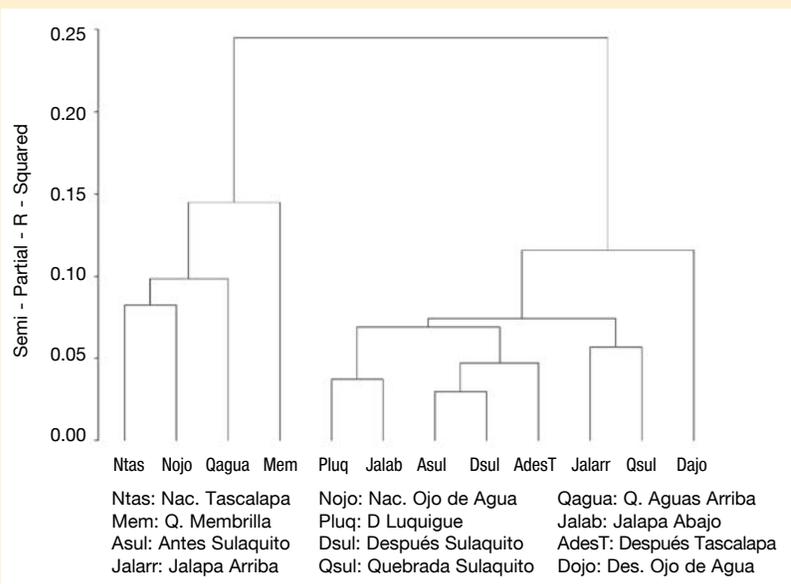


Figura 3. Análisis de conglomerados empleando el índice de similitud de Jaccard para las diferentes estaciones de muestreo de calidad del agua en la subcuenca del Río Tascalapa, Honduras.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que los cultivos y asentamientos humanos tienen un impacto negativo en la calidad del agua, al observarse diferencias en algunos parámetros físico-químicos y biológicos en la red hídrica del río Tascalapa. Sin embargo, a pesar de los cambios observados, según el ICA el agua es de óptima a buena calidad y según el BMWP, la calidad biológica del agua es excelente, con aguas no alteradas de modo sensible y con potencial para múltiples usos.

Los índices bióticos calculados no mostraron diferencias significativas entre los dos grupos de estaciones de monitoreo, mientras que el análisis de conglomerados (índice de similitud de Jaccard y ligamiento de Ward) reflejó diferencias en la composición faunística entre los dos conjuntos de estaciones de muestreo.

La presencia de familias de macroinvertebrados bentónicos que caracterizaron cada uno de los dos grupos obtenidos en el análisis de conglomerados probablemente se relaciona con cambios significativos

en la franja ribereña, cambios de condiciones ambientales debido a la alteración del bosque ribereño que provocan incremento de la sedimentación, y cambios en las variables físico-químicas como turbiedad y coliformes fecales.

Los indicadores físico-químicos, como la conductividad y sólidos disueltos, deben ser usados con precaución en los programas de monitoreo, pues las altas concentraciones pueden deberse a las condiciones geoquímicas del sitio y a procesos naturales de descomposición de materia orgánica en los bosques ribereños. Este fue el caso en las estaciones de muestreo Nacimiento Ojo de Agua y Membrilla, catalogadas con menor grado de influencia de uso de la tierra, pero que presentaron mayores valores de conductividad y sólidos disueltos.

En general, las estaciones de monitoreo con mayor grado de influencia de uso de la tierra presentaron algunas variables físico-químicas con mayores concentraciones, tales como coliformes fecales, turbiedad y pH. Esto mostró que a medida

que se incrementa la frecuencia de coberturas que ofrecen menor grado de protección al suelo, el deterioro de la calidad del agua va en aumento.

El índice ICA recoge parámetros convencionales relacionados con la calidad para el abastecimiento público, pero puede ser utilizado para considerar condiciones generales del estado de las aguas naturales. Las mismas tareas se pueden hacer con el BMWP; sin embargo la aplicación del índice ICA demanda mayores costos. EL BMWP aplicado en el presente estudio fue adaptado

para Costa Rica. Con los resultados obtenidos se observó que funciona de manera adecuada en la subcuenca Tascalapa, Honduras.

La interrelación entre el uso de la tierra, la calidad física del canal y los índices bióticos muestra que son buenos predictores del estado de calidad del agua de las fuentes, y pueden ser empleados como herramienta para medir el impacto de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas.

La conservación de la integridad ribereña ayuda a mantener una buena

calidad del agua para uso potencial, ya que se protege la integridad biológica del ecosistema acuático. Se observó que las zonas cafetaleras con sombra conservan esta integridad. 🌿

Agradecimientos

A Monika Springer, de la Universidad de Costa Rica, a Bryan Finegan del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y a Sandra Brown del Centro Internacional de Agricultura Tropical, por su valioso apoyo y asesoría en la realización de este estudio.

Literatura citada

- Armitage, PD; Moss, D. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research* 17(3): 333-347.
- Bain, MB; Booke, JT; Booke, HE. 1988. Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology* 69: 382-392.
- Barbour, MT; Gerritsen, J; Snyder, BD; Stribling, JB. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. 2 Ed. EPA 841-B-99-002. 200 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2000. Estudio de suelos en tres microcuencas de la subcuenca del Tascalapa: Luquigüe, Jalapa y Ojo de Agua. Tegucigalpa, Honduras, CIAT. Reporte interno de trabajo. 80 p.
- Chara, JD. 2002. Interacciones entre el uso del suelo y los aspectos bióticos y abióticos de quebradas en el departamento del Quindío. Cali, CO, CIPAV. Informe técnico. 9 p.
- Crawford, JK; Lenat, DR. 1989. Effects of land use on the water quality and biota of three streams in the Piedmont province of North Carolina. Raleigh, North Carolina, US, Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 89-4007. 25 p.
- Delong, MD; Brusven, B; Busven, MA. 1994. Allochthonous input of organic matter from different riparian habitats of an agriculturally impacted stream. *Environmental Management* 18: 59-71.
- _____; Brusven, MA. 1998. Macroinvertebrate community structure along the longitudinal gradient of an agriculturally impacted stream. *Environmental Management* 22: 445-457.
- García Obando, LA; 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras. Tesis Mag. SC. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 144 p.
- Grubbaugh, JW; Wallace, JB; Houston, ES. 1996. Longitudinal changes of macroinvertebrate communities along an Appalachian stream continuum. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53: 896-909.
- Kerans, BL; Karr, JR. 1994. A benthic index of biotic integrity (B-BI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications* 4: 768-785.
- Lanza Espino, G. De la; Hernández, SP; Carvajal, JL. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Ciudad de México, México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca / Comisión Nacional de Agua / Universidad Nacional Autónoma de México. 632 p.
- McCune, B; Grace, JB. 2002. Analysis of ecological communities. Oregon, US, MjM Software Design. 392 p.
- Menzel, BW; Barnum, JB; Antosh, LM. 1984. Ecological alterations of Iowa prairie-agricultural streams. *Iowa-State-Journal-of- Research*. 59(1): 5-30.
- Mishall, GW; Brock, JT; Varley, JD. 1989. Wildfires and yellowstone stream ecosystem. *Bioscience* 39:707-715.
- _____; Peterson, RC; Cummins, KW; Bott, TL; Sedell, JR; Cushing, CE; Vannote, RL. 1983. Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecological Monographs* 53: 1-15.
- Mitchell, MK; Stapp, WB; Bixby, KP. 1991. Manual de campo de proyecto del río; una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. Michigan, US. 50 p.
- Naiman, RJ; Melillo, JM; Lock, MA; Ford, TE; Reice, SR. 1987. Longitudinal patterns of ecosystem processes and community structure in a subarctic river continuum. *Ecology* 68: 1139-1156.
- Ometo, JP; Matinelli, LA; Ballester, MV; Gessner, A; Krusche, AV; Victoria, RL; Williams, M. 2000. Effects of land use in water chemistry and macroinvertebrate in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. *Freshwater Biology* 44: 327-337.
- Plafkin, JL; Barbour, MT; Porter, KD; Gross, SK; Hughes, RM. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in stream and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. United States Environmental Protection Agency EPA/ 4444/4-89-001. 5 p.
- Ramírez, A. Odonata. Artrópodos y moluscos de agua dulce de Costa Rica, con claves para su identificación. I: Insectos. *Revista Biología Tropical (CR). (Somatido a consideración)*.
- Richards, C; Mishall, GW. 1992. Spatial and temporal trends in stream macroinvertebrate species assemblages: The influence of watershed disturbance. *Hydrobiologia* 241: 173-184.
- Rojas, O. 1991. Índices de calidad de agua en fuentes de captación. *In: Memorias del Seminario Internacional "Control de calidad de agua para consumo humano"* [Bogotá, CO,]. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. p. 22-38.
- Roldán, PG. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, CO, Universidad de Antioquia. 528 p.
- _____. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín, CO, Editorial Presencia. 120 p.
- Schwoerbel, J. 1975. Métodos de hidrobiología (biología de agua dulce). Madrid, ES, Blume. 262 p.
- Statzner, B; Gore, JA; Resh, VH. 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society* 7:307-360.
- Tebbutt, THY. 1999. Fundamentos de control de la calidad del agua. México, Limusa. 239 p.
- Wiley, MJ; Osborne, LL; Larimore, RW. 1990. Longitudinal structure of an agricultural prairie river system and its relationship to current stream ecosystem theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47: 373-384.
- Young, RG; Hury, AD. 1996. Inter-annual variation in discharge controls ecosystem metabolism along a grassland river continuum. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53: 2199-2211.