

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Informe Escrito Final

Evaluación del estado ecológico de diez quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, mediante la ecología de náyades de Odonata (Insecta) y uso del suelo

Proyecto de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales

Daniel Esteban Beatriz Gutiérrez

Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica
2020

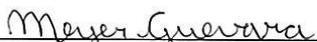
Este proyecto de graduación fue APROBADA por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales



M.Sc., Tania Bermúdez Rojas
Presidenta del Tribunal Examinador
Sustituye al Decano Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



M.Sc., Alicia Fonseca Sánchez
Sustituye al Director de la Escuela de Ciencias Biológicas



Dr., Meyer Guevara Mora
Tutor



Lic., Mauricio Herrera Campos
Asesor



Licda., Hannia Vega Bolaños
Invitada especial

Resumen

Las náyades de odonatos permiten adquirir un mayor conocimiento del estado ecológico de las diez quebradas investigadas, además, se puede evaluar hasta que punto el bosque ribereño y el café con sombra tienen un papel importante en la preservación de la integridad ecológica de quebradas aledañas a los cafetales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el estado ecológico de 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, mediante el estudio de la ecología de náyades de libélula, y uso del suelo, durante abril, julio, y octubre del 2015. En 10 quebradas se recolectaron las náyades de libélula en tres puntos distanciados 30 m cada uno. Se realizaron análisis físicos del agua, caudal máximo, y número de árboles del bosque de ribera en las quebradas, y para uso del suelo se tomaron dos categorías: 1) parches boscosos, y 2) cultivo de café con sombra. También se utilizó el Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas. Se recolectaron 527 náyades de libélula distribuidos en 6 familias y 12 géneros. El género *Hetaerina* presentó la mayor abundancia (248 individuos); mientras que *Archilestes*, *Brachymesia?*, *Cordulegaster*, y *Micrathria* fueron los menos abundantes ($n=1$). Los valores más altos de diversidad ($H'=1,58$) y dominancia ($D=0,75$) se reportaron en la Quebrada 1, con parches boscosos de 4%, y cultivo de café con sombra de 15%. El número de quebradas que tuvieron parches boscosos con cobertura baja del dosel fue de 7, y 5 quebradas tenían cobertura media de café con sombra. Se realizó un PERMANOVA que determinó diferencias significativas entre los meses de muestreo para todas las Quebradas. A partir de las variables físicas del agua evaluadas, no se determinaron valores perjudiciales para el desarrollo de las poblaciones de náyades de libélula. Al aumentar el porcentaje de los parches boscosos en las quebradas, la diversidad total disminuyó. La mayor dominancia total de las náyades de libélula, se presentó en aquellas quebradas que tenían parches de bosque con cobertura media del dosel. El 20% de las quebradas tuvieron un estado ecológico “Pobre”; solo la Quebrada de Referencia presentó un estado ecológico “Excelente”. En conjunto es importante implementar acciones que promuevan la conservación de los ambientes acuáticos lóticos investigados, tales como proponer el mantenimiento de la cobertura media de los árboles (=15-39%), tanto en los parches boscosos como en el cultivo de café con sombra.

Agradecimientos

A Meyer Guevara Mora, Mauricio Herrera Campos, Iván Sandoval Hernández, y a Carlos Esquivel por todo el apoyo en este proceso; a los Caficultores de Tarrazú, por haberme permitido realizar el trabajo de campo; a Rebeca G. de Jesús Crespo, por la confianza que depositó en mí y su aporte económico; a Monika Springer, por las facilidades para revisar la colección de Odonata en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica; a Ligia Garro Mora, por los equipos y materiales prestados para realizar esta investigación; a Virginia Alvarado García, por sus aportes y sugerencias para mejorar el documento, así como lo relacionado a sistemas de información geográfica, también a Rodrigo Méndez Solano; y a la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de Biología de la Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Costa Rica, por los comentarios proveídos a este documento.

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar hasta estas letras; una muy especial a mi hermano Luis Alonso Beatriz Gutiérrez (qdDg), su esfuerzo es inspirador; a mis padres Salvador Esteban Beatriz Porrás y María Eugenia, su apoyo ha sido incondicional; y a mi hermana Sofía E. Beatriz Gutiérrez.

Proverbios 16:3 “Deja en manos de Dios todo lo que haces, y tus proyectos se harán realidad.” (TLA)

Índice

| | |
|--|-------------|
| Miembros del Tribunal..... | I |
| Resumen..... | II |
| Agradecimientos..... | III |
| Dedicatoria..... | IV |
| Índice..... | V |
| Índice de cuadros..... | VI |
| Índice de figuras..... | VII |
| Abreviaturas..... | VIII |
| Introducción..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 4 |
| 1.3. Objetivos..... | 5 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 5 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 5 |
| 2. Metodología..... | 6 |
| 2.1. Ubicación de las quebradas..... | 6 |
| 2.2. Recolección, preservación, e identificación de las náyades de odonatos..... | 7 |
| 2.3. Parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el número de árboles del bosque de ribera..... | 8 |
| 2.4. Evaluación de uso del suelo..... | 9 |
| 2.5. Determinación del estado ecológico de las quebradas y su manejo..... | 10 |
| 2.6. Análisis estadístico..... | 11 |
| 3. Resultados..... | 12 |
| 3.1. Náyades de odonatos..... | 12 |
| 3.2. Parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el el número de árboles del bosque de ribera..... | 15 |
| 3.3. Evaluación de uso del suelo..... | 16 |
| 3.4. Determinación del estado ecológico de las quebradas y su manejo..... | 17 |
| 4. Discusión..... | 25 |
| 4.1. Náyades de odonatos..... | 25 |
| 4.2. Náyades de odonatos y factores ambientales..... | 27 |
| 4.3. Determinación del estado ecológico de las quebradas y su manejo..... | 29 |
| 5. Conclusiones..... | 34 |
| 6. Recomendaciones..... | 35 |
| 7. Bibliografía..... | 36 |
| 8. Anexos..... | 52 |
| Anexo 1..... | 52 |
| Anexo 2..... | 56 |

Índice de cuadros

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| Cuadro 1 | Riqueza y abundancia de náyades de Odonata (Insecta) recolectados en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015. indet.: indeterminado..... | 13 |
| Cuadro 2 | Parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el número de árboles del bosque de ribera, en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015. *Valor promedio; (\pm desviación estándar); Ref.: Referencia..... | 16 |
| Cuadro 3 | Prueba de Análisis de Varianza ($p \leq 0,05$) para parámetros físicos del agua, en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015..... | 16 |
| Cuadro 4 | Parches boscosos (%), y el cultivo de café con sombra (%), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015. Ref.: Referencia..... | 17 |
| Cuadro 5 | Matriz para la determinación del estado ecológico de las quebradas ubicadas en Tarrazú, zona Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015. Índice de diversidad de Shannon-Wiener total (H'); e índice de dominancia de Simpson total (D) para náyades de odonatos; valores promedio de conductividad, pH, temperatura, turbidez, caudal máximo; parches boscosos, y cultivo de café con sombra. Ref.: Referencia..... | 20 |
| Cuadro 6 | Medidas de manejo para diez quebradas investigadas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015. Ref.: Referencia..... | 22 |

Índice de figuras

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| Figura 1 | Ubicación de los sitios de muestreo en quebradas de Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre, 2015..... | 6 |
| Figura 2 | Ubicación de los sitios de muestreo en cada quebrada investigada, Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015. Modificado de Dixon <i>et al.</i> (2006)..... | 9 |
| Figura 3 | Usos de suelo en la cuenca del río Pirrís, San José, Costa Rica, 2015..... | 10 |
| Figura 4 | Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), e índice de dominancia de Simpson (D), de náyades de Odonata (Insecta) recolectados en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015. Ref.: Referencia..... | 14 |
| Figura 5 | <i>Nonmetric multidimensional scaling</i>, por sitios de muestreo de la comunidad de náyades de Odonata (Insecta), recolectadas en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015..... | 15 |
| Figura 6 | Coefficiente de correlación de rangos de Sperman ($*$= $p \leq 0,05$) entre el índice de dominancia de Simpson (D) total, la conductividad promedio ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') total y los parches boscosos (%), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015..... | 18 |
| Figura 7 | Coefficiente de correlación de rangos de Sperman ($*$= $p \leq 0,05$) entre la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) promedio y el cultivo de café con sombra (%), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015..... | 19 |
| Figura 8 | Dendograma de acuerdo con el índice de similitud de Bray-Curtis, para el índice de diversidad de Shannon-Wiener total (H'); e índice de dominancia de Simpson total (D) de náyades de odonatos; valores promedio de conductividad, pH, temperatura, turbidez, caudal máximo; parches boscosos, y cultivo de café con sombra, en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015. Queb. Ref.: Quebrada Referencia..... | 21 |
| Figura 9 | Estado ecológico según el Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas (Bjorkland <i>et al.</i> 2001), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015..... | 25 |

Abreviaturas

| | |
|-------------------------|--|
| n | Abundancia |
| r_s | Coefficiente de correlación de rangos de Sperman |
| Fig. | Figura |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grado Celsius |
| H' | Índice de diversidad de Shannon-Wiener |
| D | Índice de dominancia de Simpson |
| km^2 | Kilómetro cuadrado |
| m | Metro |
| m^3/s | Metro cúbico por segundo |
| ms.n.m. | Metro sobre el nivel del mar |
| mg/m^2 | miligramo por metro cuadrado |
| mm | milímetro |
| $\mu\text{S}/\text{cm}$ | microsiemens por centímetro |
| % | Porcentaje |
| s | Riqueza |
| NTU | Unidad de Turbidez Nefelométrica |

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Los ecosistemas acuáticos continentales se forman como resultado de las interacciones entre los organismos, la calidad físico-química del agua, y el medio terrestre que los rodea. Particularmente los ríos tropicales albergan una diversidad de seres vivos que forman parte elemental en los ciclos de materia, flujo de energía, y procesos vitales de los sistemas biológicos. Además, los ríos proveen de servicios valiosos a las poblaciones humanas, tales como sentido de pertenencia en la comunidad y recreación, disponibilidad de agua, producción de comida, madera, energía, entre otros (Chacón 2002, Roldán 2003, Ramírez *et al.* 2008, Sabater y Elozegi 2009, Sabater *et al.* 2009, Cuevas-Reyes 2010). En las últimas décadas la integridad ecológica de los ríos se ha visto muy amenazada, debido en gran parte a la contaminación por vertidos de aguas residuales de las actividades comerciales, domésticas e industriales (Arias 2001, Samways 2008, Estado de la Nación 2013).

Costa Rica no escapa al rápido deterioro del recurso hídrico, siendo el cultivo de café uno de los que provoca mayores impactos negativos sobre los ecosistemas dulceacuícolas durante todo el año. Esta situación puede empeorar en la época seca cuando se da la mayor actividad cafetalera, ya que los ríos generalmente tienen caudales más bajos, y en consecuencia la concentración de diversos elementos nocivos incrementa (García 2002, Fernández y Springer 2008, Álvarez 2009, Castillo *et al.* 2012, CGR 2013).

Ahora bien, la región de Los Santos es una de las principales exportadoras de café a Estados Unidos, manteniendo relaciones directas con compañías internacionales como Caribou Coffee, Starbucks, y Trader Joe's, además, dicha zona lidera en la lista de *Alliance for Coffee Excellence*, de cafés más finos de Costa Rica (de Jesús-Crespo *et al.* 2012, Barquero y Rodríguez 2014), también, datos del ICAFE (2010) señalan que la zona de Los Santos genera el 32% de la producción de café de Costa Rica.

Como resultado de esa actividad la matriz ambiental en torno a los afluentes ha tenido cambios espaciales y temporales, generando ecosistemas alterados que se traducen en la disminución e incluso extinción de especies, así como el deterioro de los servicios que prestan los ecosistemas acuáticos a los seres humanos (Gómez *et al.* 2005, Guevara 2008).

Otro problema asociado al cultivo de café es la deforestación del bosque ribereño, lo que provoca que las quebradas se vuelvan más estrechas, reduciendo los hábitats para los organismos acuáticos como los macroinvertebrados y peces (Sweeney *et al.* 2004, Ordoñez 2011, Rautner *et al.* 2013), por tanto, diversas estrategias de manejo han permitido disminuir los efectos de la agricultura del café.

De igual importancia el sistema agroforestal de café bajo sombra (Beer *et al.* 1998, Ávila *et al.* 2001, Hagggar *et al.* 2001), hacer cumplir los estándares máximos permitidos de descargas de aguas utilizadas en los beneficios (Zamora 1997, Danse y Bolaños 2002, Orozco y Ruíz 2002), y la reforestación del bosque de ribera (Meléndez 2009, Saborío 2012, de la Rosa com. pers. 2014), son estrategias de manejo que han procurado maximizar la conservación de la biodiversidad sin excluir la actividad agrícola del paisaje (Corrêa do Carmo *et al.* 2001).

Ante este panorama la conservación de la cobertura boscosa a lo largo de los ríos es esencial, ya que esta ayuda a mantener las funciones de los ecosistemas terrestres y acuáticos, y las interacciones entre ellos (Naiman y Décamps 1997, Pusey y Arthington 2003). Por consiguiente, es necesario evaluar la integridad ecológica de los hábitats acuáticos y los efectos de la contaminación causada por el cultivo del café. Así, el estado ecológico se entiende como la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales en relación con las condiciones de referencia, los cuales cuentan con elementos de calidad biológica en condiciones inalteradas antrópicamente (MAGRAMA 2015).

Así pues, uno de los métodos más utilizados para evaluar el estado ecológico de ambientes dulceacuícolas es el uso de bioindicadores. La bioindicación nace como una estrategia para detectar y medir la contaminación acuática, haciendo uso de comunidades de organismos como indicadores de las características abióticas del sistema (Zamora 1999, Wantzen y Rueda-Delgado 2009). El biomonitoreo acuático tiene ventajas tales como ser un método integral, a su vez permite comparar condiciones ecológicas pasadas y presentes en los cuerpos dulceacuícolas, y también logra detectar eventos puntuales de toxicidad (de la Lanza 2000). Sin embargo, como desventaja no revela condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud de las personas (Springer 2010).

Otro punto en contra de ese muestreo es que consume más tiempo que los análisis físico - químicos, y no tiene una expresión numérica precisa comparada con los parámetros físicos y químicos (de la Lanza 2000). Debido a lo anterior, los datos biológicos, físicos y químicos no son excluyentes, ya que permiten tener un panorama más amplio del estado de estos ecosistemas (Posada *et al.* 2000, Gamboa *et al.* 2008).

Hay que destacar en la actualidad los macroinvertebrados como los organismos más utilizados para la bioindicación (Jacobsen *et al.* 2008, Prat *et al.* 2009, Hanson *et al.* 2010). Dentro de la amplia diversidad de grupos indicadores, las libélulas (orden Odonata) constituyen una valiosa herramienta para varios tipos de evaluaciones y monitoreos, tales como la detección y predicción del impacto a causa del cambio climático, el monitoreo del manejo de los recursos naturales acuáticos y terrestres, así como las funciones ecosistemáticas y calidad de agua de los ambientes lénticos y lóticos (Oertli 2008, Astudillo *et al.* 2014).

Los odonatos tienen un papel elemental en las cadenas tróficas dentro del sistema acuático, y en el ciclo de nutrientes hacia el sistema terrestre (Gutiérrez-Fonseca 2010). Las náyades (término usado por algunos autores para nombrar las larvas acuáticas de los insectos hemimetábolos, especialmente las de Odonata -Costa *et al.* 2006-) de libélulas ocupan una amplia variedad de hábitats acuáticos lénticos y lóticos, e incluso en fitotelmas (de Souza *et al.* 2007, Kalkman *et al.* 2008, Haber *et al.* 2015); son depredadoras voraces que se alimentan de microorganismos, y otros invertebrados acuáticos, peces juveniles, entre otros (Bouchard 2004, Ramírez 2010). Así mismo en un estudio en el río Sábalo (Costa Rica), Ramírez y Pringle (1998a) determinaron que la producción anual de biomasa de tres géneros de náyades de libélulas fue de 182,38 mg/m², aportando un 20% de la producción secundaria estudiada, por un lado, información de este tipo para el neotrópico es muy escasa (Jacobsen *et al.* 2008).

En efecto es importante implementar la bioindicación con náyades de odonatos con análisis físicos y químicos de las aguas para determinar su calidad (Springer 2010). Dentro de los parámetros que permiten determinar las concentraciones de los principales contaminantes en los ambientes acuáticos se pueden citar: conductividad, pH, temperatura, y turbidez (de Jesús-Crespo *et al.* 2012). Por consiguiente, las características físicas y químicas del agua influyen en la ecología de las náyades de Odonata, siendo buenos determinantes de la distribución y abundancia a escala espacial o temporal.

De esta forma, las quebradas pueden presentar características propias que ofrezcan microhábitats diferentes, generando un panorama de las condiciones en los ecosistemas dulceacuícolas (Torralba 2009, Moreno 2011).

Asimismo, estudios de Azrina *et al.* (2005), Lorion y Kennedy (2009), Mancilla *et al.* (2009), entre otros, señalan que cuando las condiciones físicas y químicas del agua cambian producto de los impactos antropogénicos, las comunidades de náyades de libélulas y de macroinvertebrados generalmente cambian abruptamente, además, esas condiciones varían temporalmente debido a las dinámicas estacionales (Morais *et al.* 2004, Guevara 2011, Small *et al.* 2012). Por lo tanto, la variabilidad espacial y temporal del medioambiente tiene un efecto relevante en la diversidad y estructura de las comunidades bióticas. En definitiva, para el estudio de las náyades de odonatos hay que tomar en cuenta interacciones, y la heterogeneidad de los factores ambientales (Huston 1994, Álvarez 2009).

1.2. Justificación

La cuenca media del río Pirrís es muy importante para Tarrazú, ya que sus aguas son aprovechadas para actividades como la captación y abastecimiento de agua potable, producción de flores, árboles frutales de altura, hortalizas, y café, el cual es el cultivo predominante. En el contexto nacional esta cuenca es de gran interés ya que allí se ubica el Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, del Instituto Costarricense de Electricidad.

También en esta región hay potreros y bosques fragmentados en distintas etapas de sucesión, los cuales se encuentran asociados con la biodiversidad terrestre y acuática, que han sido impactados por el cultivo de café, causadas por la deforestación del bosque ribereño, erosión del suelo, aplicaciones inadecuadas de agroquímicos, entre otros.

Es por eso que el estudio de las comunidades de náyades de odonatos es muy relevante, ya que son sensibles a las alteraciones del medio (Altamiranda-S. *et al.* 2010, Avilés 2017), lo que permite adquirir un mayor conocimiento del estado ecológico de las quebradas investigadas, cómo estas se han visto influenciadas por las prácticas de manejo del cultivo de café, y permite evaluar hasta qué punto el bosque ribereño y el café con sombra tienen un papel importante en la preservación de la integridad ecológica de los afluentes aledaños a los cafetales (de Jesús-Crespo 2015).

Debido a sus funciones vitales en los afluentes, las náyades de libélula tienen un alto potencial como indicadores del estado de salud de los ambientes lóticos (Gutiérrez-Fonseca 2010, Ramírez 2010), lo cual permite obtener información básica para generar planes de manejo de las quebradas que fueron estudiadas. Asimismo, la información obtenida de esta investigación puede utilizarse para justificar medidas de protección tanto a los ecosistemas acuáticos como terrestres. Esto involucra prácticas de manejo dirigidas al mantenimiento de las cadenas tróficas, la conservación del suelo, la reforestación, entre otros. Entre los beneficios de tales prácticas están el asegurar la continuidad del flujo de las aguas superficiales, lo cual provee hábitats a muchas especies, la protección de inundaciones, el suministro de agua potable a distintas comunidades y la recarga adecuada de los acuíferos de las aguas subterráneas (Herrera 2008).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el estado ecológico de diez quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, mediante el estudio de la ecología de náyades de libélula y el análisis de uso del suelo, para la recomendación de medidas de manejo.

1.3.2. Objetivos específicos

Establecer el estado ecológico de diez quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, por medio del estudio de las comunidades de náyades de libélula, y su relación con parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el número de árboles del bosque de ribera.

Analizar el uso del suelo aledaño al margen en 10 quebradas de la región de estudio, para la determinación de las relaciones entre los usos y el estado ecológico de las mismas.

Proponer recomendaciones para el manejo integral de quebradas en la zona de estudio.

2. Metodología

2.1. Ubicación de las quebradas

La cuenca media del río Pirrís se encuentra localizada en San José, Costa Rica (9352839 N, 7488283 O) (Fig. 1) y alcanza elevaciones desde los 100 hasta los 3100 m.s.n.m. Abarca aproximadamente 124,30 km² y es considerada como una de las cuencas del país con los mayores cambios en el uso y la cobertura de la tierra (Sánchez-Azofeifa 1996, Madrigal 2002, Chinchilla *et al.* 2011 a, b). En general, a lo largo del río Pirrís la topografía es muy quebrada, con fuertes pendientes y deslizamientos de rocas sedimentarias meteorizadas o fracturadas.

Sus principales zonas de vida son el bosque muy húmedo Premontano y el bosque muy húmedo Montano Bajo (Holdridge 1967). La precipitación promedio anual oscila entre los 1954 a 2233 mm. La temperatura promedio anual oscila entre los 16 a los 19°C; donde enero es el mes más frío y abril, el más cálido. El período seco corresponde a los meses entre diciembre y marzo; mientras que el lluvioso, comprende de mayo a octubre. Los meses de transición son abril y noviembre (Sánchez-Azofeifa 1996, Madrigal 2002, Chinchilla *et al.* 2011 a, b).

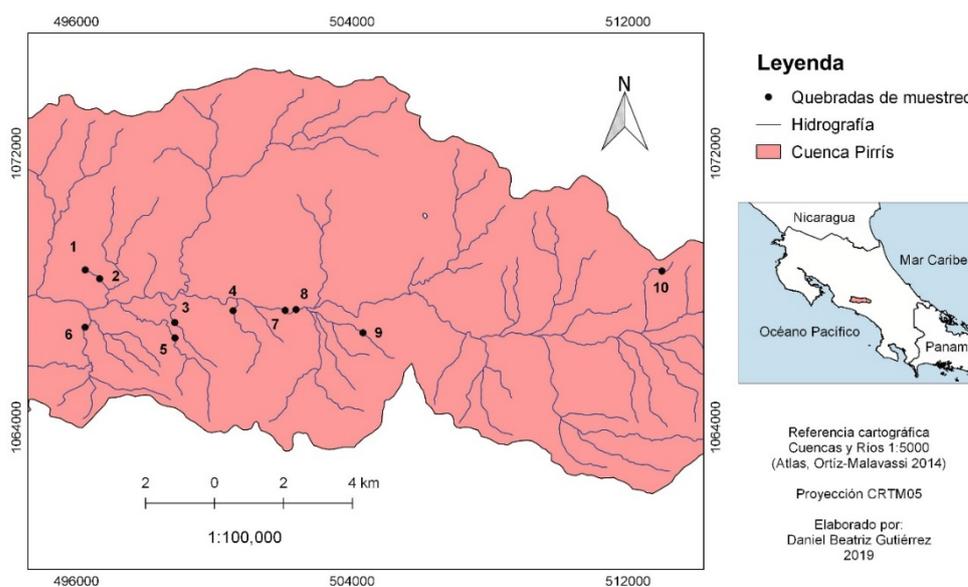


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en quebradas de Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre, 2015. (Anexo 1).

Se trabajó en diez quebradas a lo largo del río Pirrís. El 90% de estos cuerpos de agua presentó intervención antropogénica y únicamente la Quebrada de Referencia estuvo localizada dentro de una finca privada protegida. La Quebrada de Referencia fue un sistema lótico con escasa o nula intervención, ubicada unos 5 km de distancia aproximadamente del resto de las quebradas, la cual presentó el 100% de su área destinado a la conservación de bosques.

Las quebradas investigadas fueron: 1. Quebrada Tierra I (496255 N, 1068609 O); 2. Quebrada Tierra II (496675 N, 1068352 O); 3. Quebrada Monterrey (498855 N, 1067071 O); 4. Quebrada Zapote (500546 N, 1067417 O); 5. Quebrada La Cruz (498860 N, 1066620 O); 6. Quebrada Salado (496251 N, 1066933 O); 7. Quebrada Pirrís I (502053 N, 1067427 O); 8. Quebrada Pirrís II (502368 N, 1067450 O); 9. Quebrada Mata (504309 N, 1066772 O) y 10. Quebrada Escuadra (512979 N, 1068573 O) (Quebrada de Referencia).

2.2. Recolección, preservación, e identificación de las náyades de odonatos

La técnica de recolección y preservación de las náyades de Odonata fue basada en Maue y Springer (2008), y Jesús-Crespo (2015). En cada quebrada se recolectaron las náyades de libélula en tres puntos, distanciados aproximadamente 30 m cada uno. Primero se utilizó durante un minuto una red Surber de 500 μm de superficie de muestreo, considerando una muestra del fondo del cuerpo de agua. Seguidamente en un lapso de 20 minutos se usó una red tipo D de 500 μm . El tiempo fue distribuido proporcionalmente de acuerdo a la abundancia de microhábitats encontrados, tales como bancos de arena, macrófitas, acumulaciones de hojas, pozas, raíces, rápidos, vegetación sobre el agua, entre otros.

Posteriormente las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas, etiquetadas, y fijadas con alcohol al 70% para su preservación. Cuando se empleó la red tipo D, con ayuda de pinzas entomológicas y una bandeja de color blanco con agua, las náyades de Odonata fueron separadas del sustrato y depositadas en un recipiente plástico con alcohol al 70% para preservarlas. La recolección y preservación de las náyades de Odonata se realizó en el 2015.

El material recolectado se identificó a nivel de género empleando la clasificación de Dijkstra *et al.* (2013), y las claves de Ramírez (2010, 2014, 2016 a, b, c); se preservó en viales con alcohol al 70%, y luego se depositó en la colección oficial del Laboratorio de Entomología de la Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Costa Rica.

2.3. Parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el número de árboles del bosque de ribera

Parte del estudio se realizó en abril (época seca), julio (época de transición), y octubre (época lluviosa) del 2015, tomando en cuenta el patrón de precipitación de Tarrazú. Para la medición de los parámetros físicos en cada quebrada se utilizó el multiparámetro *probe* YSI-6820, se midió conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), y turbidez (NTU), obteniendo la media a partir de tres repeticiones. Dichos parámetros fueron medidos en un área sombreada de la quebrada, ya que las características físicas pueden variar dependiendo de la hora del día (Laidlaw 1996).

El caudal máximo (m^3/s) se midió utilizando un medidor de velocidad de corriente *Swoffer* 2100, obteniendo la media a partir de tres repeticiones.

Por otro lado, a lo largo de 100 m de las 10 quebradas estudiadas se estimó el número de árboles de forma visual. Se establecieron tres puntos en cada quebrada, principio (30 m), mitad (60 m), y fin (90 m); en cada punto se designó un círculo imaginario de aproximadamente 5 m de diámetro para contar todos los árboles mayores a aproximadamente 10 cm de diámetro a la altura del pecho (Fig. 2) (Dixon *et al.* 2006, de Jesús-Crespo 2012). Asimismo, se entiende por árbol como aquella planta decidua o no, la cual por lo general solo tiene un tronco (Jensen y Salisbury 1988).

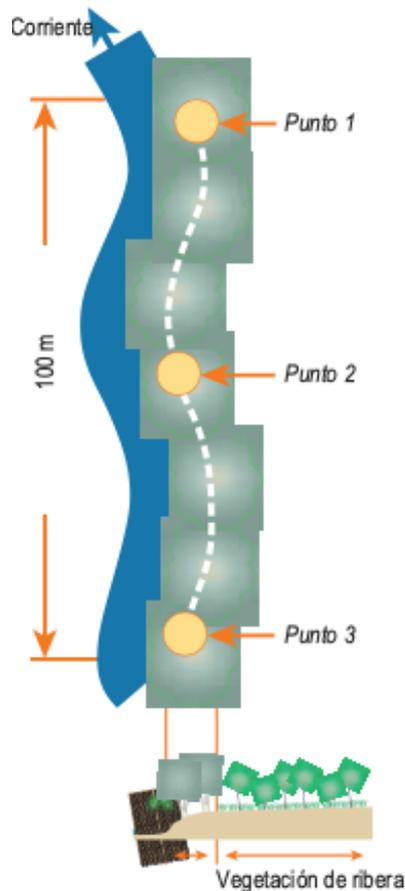


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo en cada quebrada investigada, Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015. Modificado de Dixon *et al.* (2006).

2.4. Evaluación de uso del suelo

El uso del suelo y la delimitación de la cuenca se obtuvieron a partir del Atlas de Costa Rica 2014 (Ortiz-Malavasi 2014). Se utilizó el programa Quantum Gis versión 2.18 para recortar la capa de cuencas hidrográficas y delimitar la cuenca del río Pirrís. Posteriormente, se recortó la capa de cobertura para esa área. Se identificaron siete usos principales caracterizados por cultivo de café (34%), bosque (30%), pastos (23%), plantaciones forestales (4%), bosque secundario (6%), suelo expuesto (2%), y páramo (1%) (Fig. 3).

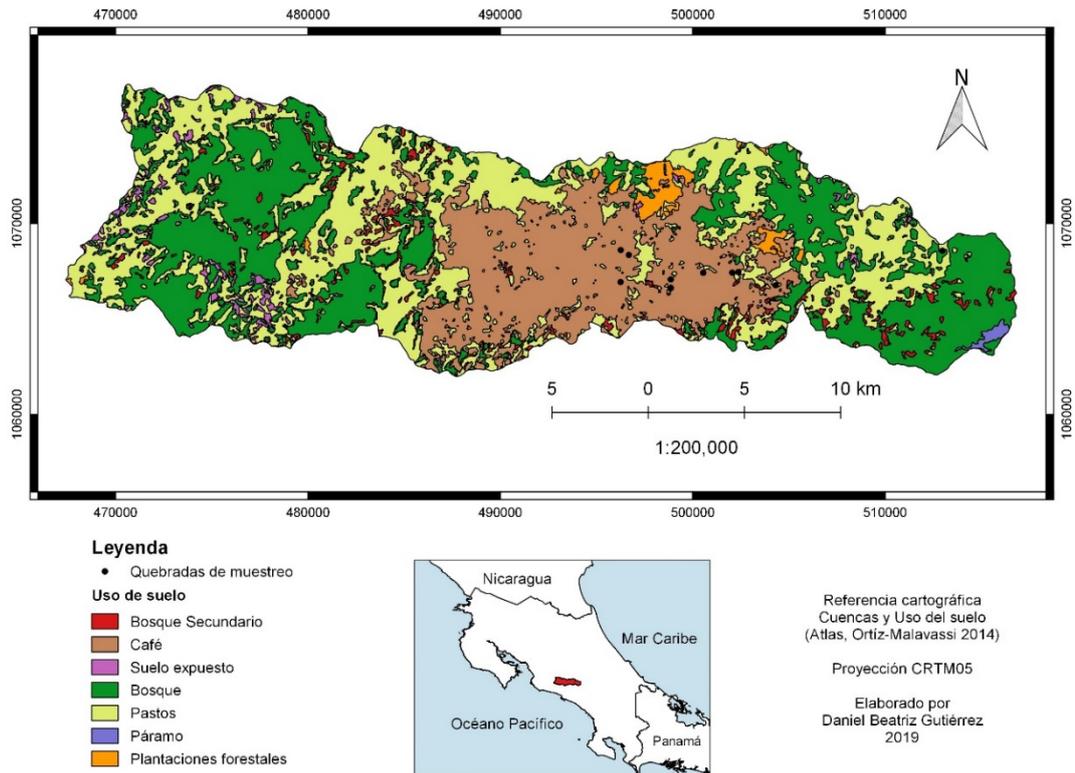


Figura 3. Usos de suelo en la cuenca del río Pirris, San José, Costa Rica, 2015.

Para esta investigación se enfocó en dos usos prioritarios para la zona de interés: bosque y cultivo de café. Los porcentajes de cobertura de estos dos usos se obtuvieron a partir del estudio de Jesús-Crespo (2015), donde se designó un porcentaje de cobertura; a partir del contraste de imágenes satelitales en un buffer de 10 m a ambos márgenes de las quebradas. Como categorías de cobertura se utilizaron: $\leq 14\%$ baja; $=15-39\%$ media; $\geq 40\%$ alta, basado en Bjorkland *et al.* (2001) y Red de Agricultura Sostenible (2010).

2.5. Determinación del estado ecológico de las quebradas y su manejo

Para la determinación del estado ecológico de las quebradas, se utilizaron tres análisis; el primero se basó en el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (r_s) ($p \leq 0,05$) (Gutiérrez 2000), para determinar la correlación entre los parches boscosos (%), el cultivo de café con sombra (%), con la riqueza (s) total, abundancia (n) total, índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') total, y el índice de dominancia de Simpson (D) total de las náyades de odonatos; parámetros físicos del agua (media total), caudal máximo (promedio total), y número de árboles en el bosque de ribera.

En segundo lugar, se generó una matriz de análisis a partir de los datos obtenidos (H' total, y D total, parámetros físicos del agua (media total), caudal máximo (promedio total), y porcentaje de cobertura. Para determinar la similitud entre las quebradas, con respecto a las náyades de Odonata y los factores ambientales, se utilizó el índice de Bray-Curtis.

En tercer lugar, se utilizó el Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas (PEVQ) (Bjorkland *et al.* 2001) con los siguientes parámetros: estabilidad del banco, cobertura del dosel, condición de la vegetación de ribera, disponibilidad de hábitat, cruce de caminos, e impacto de ganado. Cada quebrada se categorizó según la puntuación ponderada y se clasificó respecto a su condición: 9-10 (**Excelente**), 7-8 (**Bueno**), 5-6 (**Regular**), y 1-4 (**Pobre**).

Con base en los datos que se obtuvieron a partir de los tres evaluadores anteriores, se creó una matriz para proponer medidas de manejo para las quebradas investigadas. Con esto se pretende exponer cuales de ellas presentaron condiciones similares en el establecimiento de náyades de odonatos, y así priorizar un manejo integral de la cuenca media del río Pirrís.

2.6. Análisis estadístico

Se calcularon la n , la s , el H' , y el D , los cuales se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$). Todo esto se hizo para determinar si existieron diferencias por Quebrada. Los datos fueron analizados con el programa PAST versión 3.14 (Hammer *et al.* 2001). Además, para evaluar la comunidad de náyades de odonatos por Quebradas se utilizó un *Nonmetric multidimensional scaling* (nMDS).

El nMDS es una ordenación basada en la distancia de una matriz de similitud, correlacionando medidas de distancia, y la distancia en el espacio de ordenación.

El valor del estrés en el nMDS indica la medida de distorsión entre las posiciones de los puntos de los datos reales, y su representación en el gráfico (Clarke *et al.* 2014).

Para este análisis no se tomaron en cuenta los siguientes meses de muestreo, ya que no se recolectaron náyades de odonatos: Quebradas 3, 7, y Referencia: julio, y diciembre; Quebradas 5 y 9: diciembre; Quebrada 4: abril, y diciembre; y Quebrada 6: abril.

También, para analizar las diferencias entre quebradas de las náyades de libélulas recolectadas se utilizó un PERMANOVA. Para el nMDS y el PERMANOVA se usó el programa R Studio versión 1.1.463.

En los parámetros físicos del agua se utilizó una Prueba de Análisis de Varianza ($p \leq 0,05$) para determinar si existieron diferencias por los meses de muestreo.

Para la determinación del estado ecológico de las quebradas se basó en primera instancia con el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (r_s) ($p \leq 0,05$) (Gutiérrez 2000).

3. Resultados

3.1. Náyades de odonatos

Se recolectó un total de 527 individuos (n), de los cuales el 92% fue identificado a nivel de género. Los mismos fueron clasificados en 12 géneros, donde *Hetaerina* presentó la mayor abundancia (n=248); mientras que *Archilestes*, *Brachymesia?*, *Cordulegaster*, y *Micrathria* fueron los menos abundantes, con un individuo cada uno (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riqueza y abundancia de náyades de Odonata (Insecta) recolectados en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015. indet.: indeterminado

| Orden | Suborden | Familia | Género | Abundancia |
|--------------|-----------------|------------------|------------------------|-------------------|
| Odonata | Anisoptera | Cordulegastridae | <i>Cordulegaster</i> | 1 |
| | | Gomphidae | <i>Archaeogomphus?</i> | 2 |
| | | Libellulidae | <i>Neocordulia</i> | 2 |
| | | | <i>Brachymesia?</i> | 1 |
| | | | <i>Brechmorhoga</i> | 91 |
| | | | <i>Erythrodiplax</i> | 20 |
| | | | <i>Micrathyria</i> | 1 |
| | | Zygoptera | Calopterygidae | <i>Perithemis</i> |
| | <i>Tholymis</i> | | | 22 |
| | Coenagrionidae | | <i>Hetaerina</i> | 248 |
| | Lestidae | | <i>Argia</i> | 55 |
| | indet. | | <i>Archilestes</i> | 1 |
| | indet. | indet. | indet. | 42 |

El sitio en el cual se registró la mayor abundancia de individuos fue la Quebrada 2 (n=118); mientras que en la Quebrada 7 se registró la de menor abundancia total (n=4) (Kruskall-Wallis, p=0,32). La mayor riqueza de géneros (n=8) se encontró en las Quebradas 1 y 8; mientras que la menor riqueza a nivel de género se halló en las Quebradas 7, 9, y Referencia (n=2) (Kruskall-Wallis, p=0,99). Ahora bien, la tendencia observada fue los valores superiores de H' y D estuvieran en la Quebrada 1 (H' = 1,58; D = 0,75); mientras que la Quebrada de Referencia obtuvo el menor valor para la H' = 0,24 y D = 0,12 (Fig. 4). Por una parte, el análisis nMDS con un estrés de 0,16 reflejó dos grupos en relación a las quebradas de muestro, Quebrada 1 a la Quebrada 9 y la Quebrada de Referencia (Fig. 5).

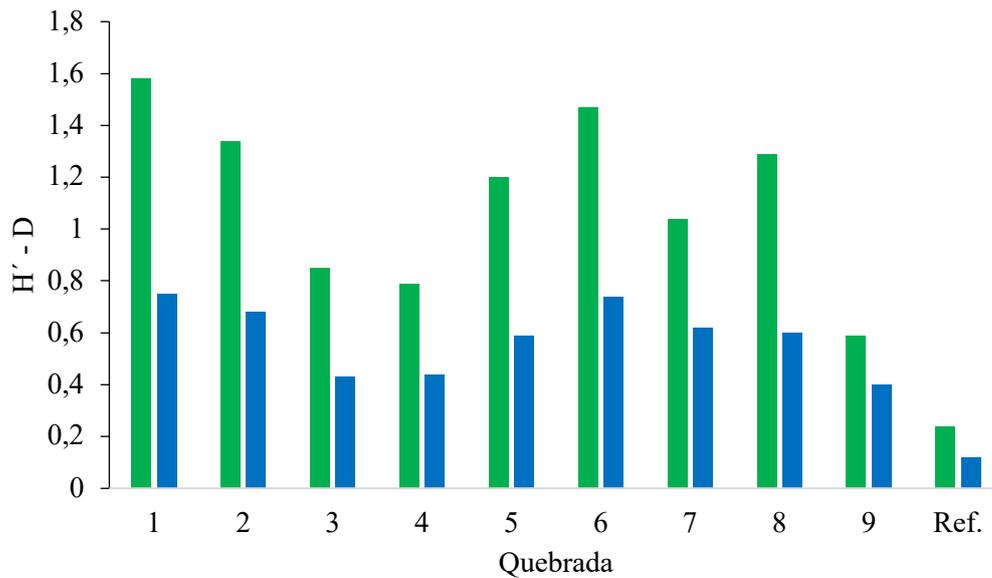


Figura 4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), e índice de dominancia de Simpson (D), de náyades de Odonata (Insecta) recolectados en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015. Ref.: Referencia

Hay que hacer notar en la época de transición (abril) fue la que tuvo la mayor abundancia total ($n=271$), y en diciembre fue la de menor abundancia total con 71 individuos (Kruskall-Wallis, $p=0,0029$). En abril y octubre se recolectaron 9 géneros de náyades de Odonata; mientras que en diciembre se recolectaron 4 géneros. En el caso del PERMANOVA arrojó diferencias estadísticamente significativas entre los meses de muestreo ($0,40$; $p= 0,04$). En particular la prueba de Kruskall-Wallis para H' y D señaló que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las quebradas de muestreo ($p=0,25$).

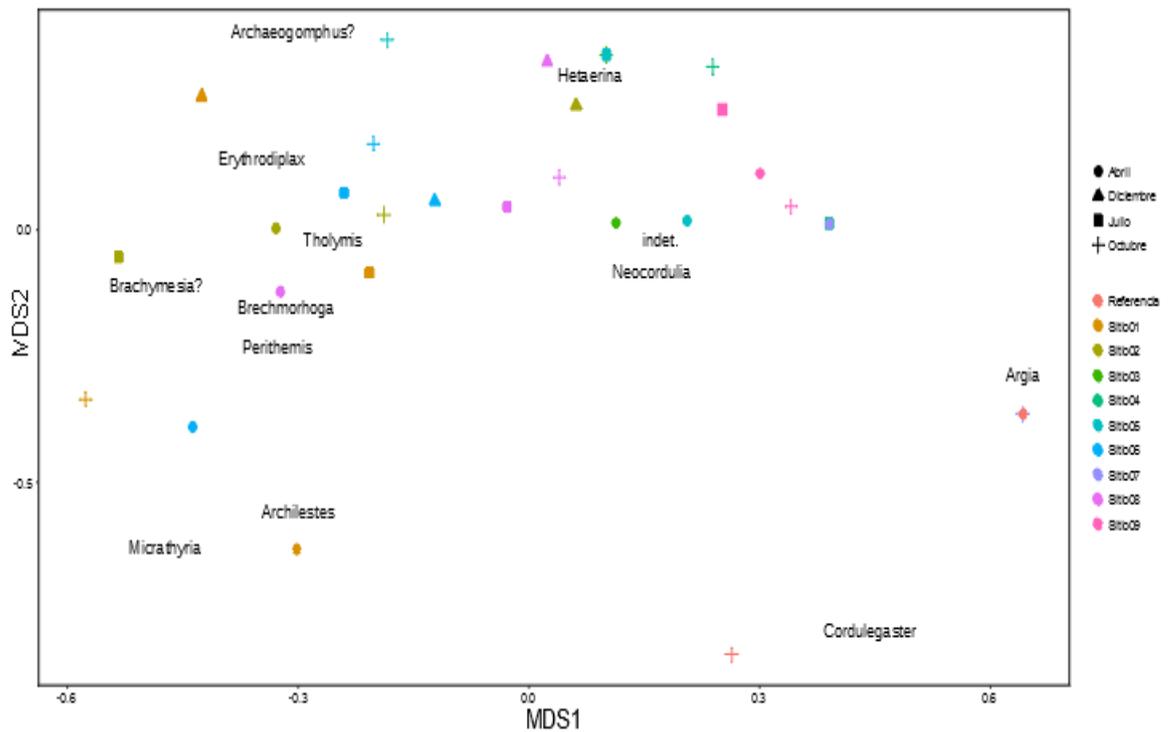


Figura 5. *Nonmetric multidimensional scaling*, por sitios de muestreo de la comunidad de náyades de Odonata (Insecta), recolectadas en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015.

3.2. Parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el número de árboles del bosque de ribera

Las variables de conductividad, pH, temperatura, turbidez, y el caudal máximo para todas las quebradas de muestreo presentaron valores favorables para el desarrollo de náyades de odonatos. En términos generales las quebradas con mayor número de árboles en el bosque de ribera mostraron menores caudales máximos (Cuadro 2), a la vez que la turbidez fue el único parámetro que no presentó diferencias estadísticamente significativas en algún mes (Cuadro 3).

Cuadro 2. Parámetros físicos del agua, el caudal máximo, y el número de árboles del bosque de ribera, en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015. *Valor promedio; (\pm desviación estándar); Ref.: Referencia

| Quebrada | Conductividad(μ S/cm)* | pH* | Temperatura (°C)* | Turbidez (NTU)* | Caudal máximo (m^3/s)* | Número de árboles del bosque de ribera |
|----------|-----------------------------|------------|-------------------|-----------------|----------------------------|--|
| 1 | 400(72,40) | 7,90(0,10) | 18,64(0,97) | 14,75(1,00) | 2,67(1,40) | 4 |
| 2 | 490(5,29) | 7,80(0,04) | 17,90(0,15) | 17,29(0,10) | 0,30(0,46) | 14 |
| 3 | 240(3,05) | 7,40(0,08) | 19,24(0,26) | 4,79(0,10) | 0,60(0,31) | 15 |
| 4 | 280(88,27) | 7,50(0,07) | 19,38(0,54) | 6,14(1,66) | 0,57(0,20) | 24 |
| 5 | 260(11,54) | 7,30(0,03) | 20,12(0,91) | 4,45(0,11) | 0,30(0,74) | 7 |
| 6 | 490(3,21) | 7,70(0,09) | 19,54(0,06) | 4,66(0,1) | 0,71(0,07) | 0 |
| 7 | 390(1) | 7,90(0,01) | 17,17(0,12) | 12,00(0,26) | 0,64(1,45) | 32 |
| 8 | 310(2,5) | 7,60(0,02) | 17,17(0,12) | 5,69(0,7) | 0,08(0,27) | 12 |
| 9 | 160(0) | 7,20(0,09) | 18,43(0,44) | 4,76(1,6) | 0,49(0,54) | 8 |
| Ref. | 100(33) | 7,00(0,11) | 12,65(0,11) | 1,74(0,1) | 0,28(0,34) | 18 |

Cuadro 3. Prueba de Análisis de Varianza ($p \leq 0,05$) para parámetros físicos del agua, en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015.

| | Abril | | Julio | | Octubre | |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|--------------|
| | F | p | F | p | F | p |
| Conductividad (μ S/cm) | 11,47 | 0,004 | 40,26 | 0,0001 | 9,49 | 0,008 |
| pH | 9,63 | 0,004 | 2,05 | 0,18 | 3,46 | 0,07 |
| Temperatura (°C) | 8,55 | 0,001 | 3,68 | 0,02 | 2,02 | 0,14 |
| Turbidez (NTU) | 1,78 | 0,18 | 0,69 | 0,63 | 1,94 | 0,16 |
| Caudal máximo (m^3/s) | 4,40 | 0,004 | 0,69 | 0,68 | 1,52 | 0,21 |

3.3. Evaluación de uso del suelo

El 70% de las quebradas tuvieron parches boscosos con cobertura baja del dosel ($\leq 14\%$); solo la Quebrada de Referencia presentó una cobertura alta del dosel ($\geq 40\%$).

Además, el 50% de las quebradas tuvieron un porcentaje de cobertura media (entre 15-39%) de cultivo de café con sombra; el resto se ubicó en la categoría baja (Quebradas Referencia, 7 y 9) y categoría alta (Quebradas 5 y 6) respectivamente (Cuadro 4). Por lo tanto, el 60% de las quebradas presentó una cobertura total media.

Cuadro 4. Parches boscosos (%), y el cultivo de café con sombra (%), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015. Ref.: Referencia

| Quebrada | Parches boscosos (%) | Cultivo de café con sombra (%) | Otros usos de suelo (%) |
|----------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1 | 4 | 15 | 81 |
| 2 | 3 | 19 | 78 |
| 3 | 8 | 35 | 57 |
| 4 | 3 | 21 | 76 |
| 5 | 7 | 44 | 49 |
| 6 | 4 | 47 | 49 |
| 7 | 20 | 13 | 67 |
| 8 | 8 | 23 | 69 |
| 9 | 30 | 7 | 63 |
| Ref. | 100 | 0 | 0 |

3.4. Determinación del estado ecológico de las quebradas y su manejo

Mediante un r_s ($p \leq 0,05$) se determinó que la D total ($r=0,67$) y la conductividad promedio ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ($r=0,45$) están correlacionados con los parches boscosos (%). Hay que tener en cuenta que la H' total y los parches boscosos (%) en las quebradas de muestreo no presentan un r_s significativo ($p=0,06$; $r=0,60$); sin embargo, se da una disposición general conforme aumentó el porcentaje de parches boscosos la H' total disminuyó (Fig. 6). Por otro lado, se detectó que el cultivo de café con sombra (%) esta correlacionado con la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) promedio del agua ($r=0,52$) (Fig. 7).

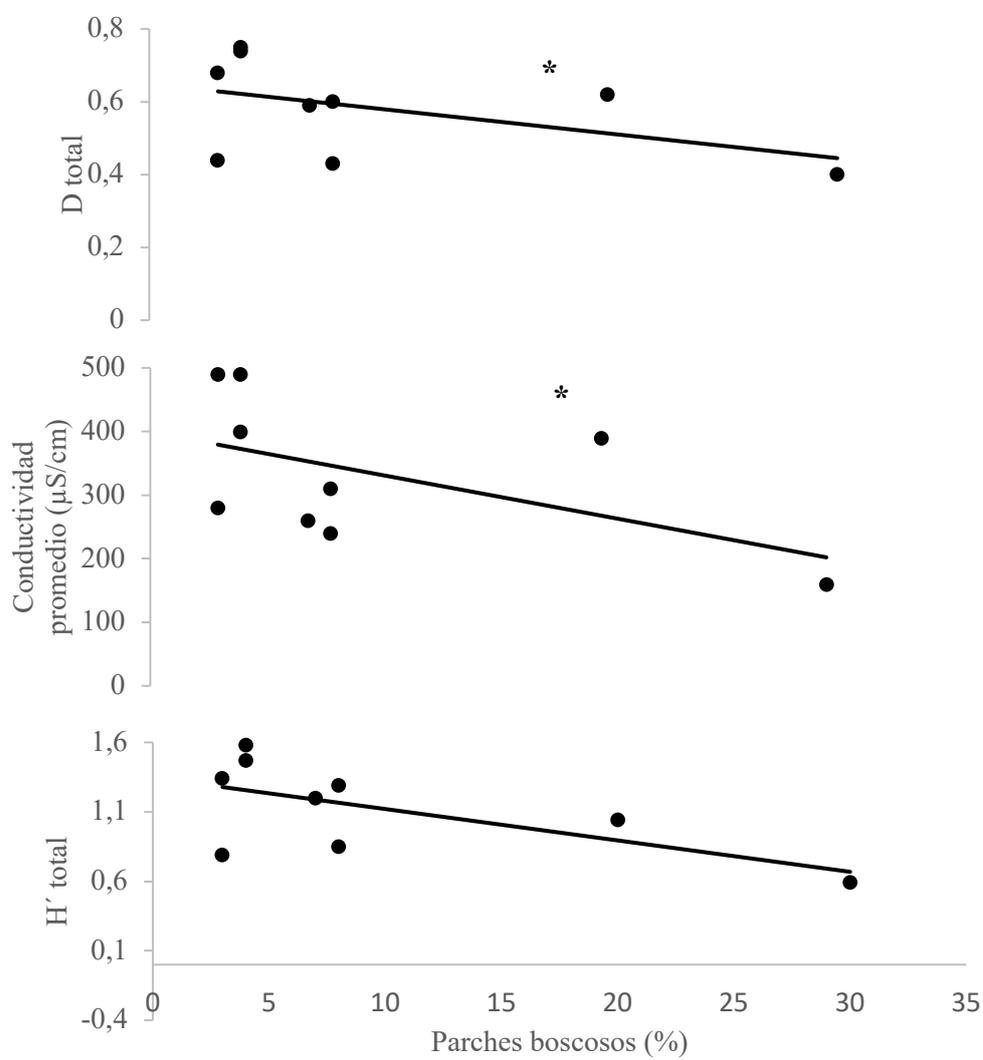


Figura 6. Coeficiente de correlación de rangos de Sperman (*= $p \leq 0,05$) entre el índice de dominancia de Simpson (D) total, la conductividad promedio ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') total y los parches boscosos (%), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015.

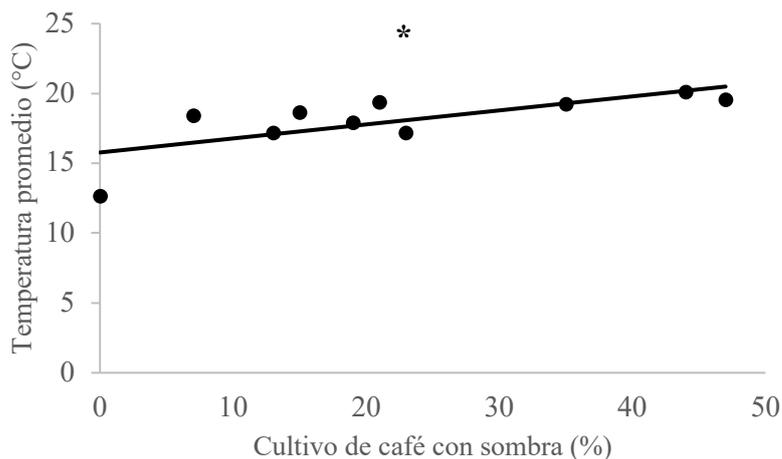


Figura 7. Coeficiente de correlación de rangos de Sperman (*= $p \leq 0,05$) entre la temperatura (°C) promedio y el cultivo de café con sombra (%), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015.

Como se mencionó anteriormente, la Quebrada 1 presentó la mayor diversidad y dominancia total; con respecto a la Quebrada de Referencia, la cual tuvo el valor más bajo en ambos casos. Por el contrario, en cuanto a los parches boscosos, esta relación es inversamente proporcional, ya que la Quebrada de Referencia tiene un 100% y la mayoría de quebradas están por debajo del 10%. Se pudo notar una tendencia hacia una mayor diversidad y dominancia total, en quebradas con poca sombra (bajo porcentaje de cobertura en parches) como sucede en las Quebradas 1 y 2; mientras que, hubo otra tendencia hacia una menor diversidad y dominancia total en quebradas con alto porcentaje de cobertura, como en las Quebradas 9 y Referencia (Cuadro 5).

Esa relación se hace visible desde las variables físicas, ya que la temperatura del agua es más cálida conforme la cobertura disminuye en el cultivo de café con sombra. Para la conductividad no hay una tendencia tan clara; sin embargo, es importante resaltar que en quebradas con mayor abundancia y diversidad total, se registró un valor tres veces más alto con respecto a la Quebrada de Referencia.

Cuadro 5. Matriz para la determinación del estado ecológico de las quebradas ubicadas en Tarrazú, zona Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, octubre, y diciembre del 2015. Índice de diversidad de Shannon-Wiener total (H'); e índice de dominancia de Simpson total (D) para náyades de odonatos; valores promedio de conductividad, pH, temperatura, turbidez, caudal máximo; parches boscosos, y cultivo de café con sombra. Ref.: Referencia

| Quebrada | H' total | D total | Conductividad (μS/cm) | pH | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) | Caudal máximo (m ³ /s) | Parches boscosos (%) | Cultivo de café con sombra (%) |
|----------|----------|---------|-----------------------|------|------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1 | 1,58 | 0,75 | 400 | 7,90 | 18,64 | 14,75 | 2,67 | 4 | 15 |
| 2 | 1,34 | 0,68 | 490 | 7,80 | 17,90 | 17,29 | 0,30 | 3 | 19 |
| 3 | 0,85 | 0,43 | 240 | 7,40 | 19,24 | 4,79 | 0,60 | 8 | 35 |
| 4 | 0,79 | 0,44 | 280 | 7,50 | 19,38 | 6,14 | 0,57 | 3 | 21 |
| 5 | 1,20 | 0,59 | 260 | 7,30 | 20,12 | 4,45 | 0,30 | 7 | 44 |
| 6 | 1,47 | 0,74 | 490 | 7,70 | 19,54 | 4,66 | 0,71 | 4 | 47 |
| 7 | 1,04 | 0,62 | 390 | 7,90 | 17,17 | 12,00 | 0,64 | 20 | 13 |
| 8 | 1,29 | 0,60 | 310 | 7,60 | 17,17 | 5,69 | 0,08 | 8 | 23 |
| 9 | 0,59 | 0,40 | 160 | 7,20 | 18,43 | 4,76 | 0,49 | 30 | 7 |
| Ref. | 0,24 | 0,12 | 100 | 7,00 | 12,65 | 1,74 | 0,28 | 100 | 0 |

De acuerdo con el índice de similitud de Bray-Curtis para las náyades de Odonata y factores ambientales, se observaron dos grandes grupos: A= Quebrada 9 y Quebrada de Referencia; B= Quebradas 1-8 (Fig. 8). Esto puede evidenciar que la mayoría de las quebradas presentaron características comunes en cuanto a los factores ambientales y la disponibilidad de los diversos microhábitats, que a su vez, permitieron el establecimiento de las comunidades de las náyades.

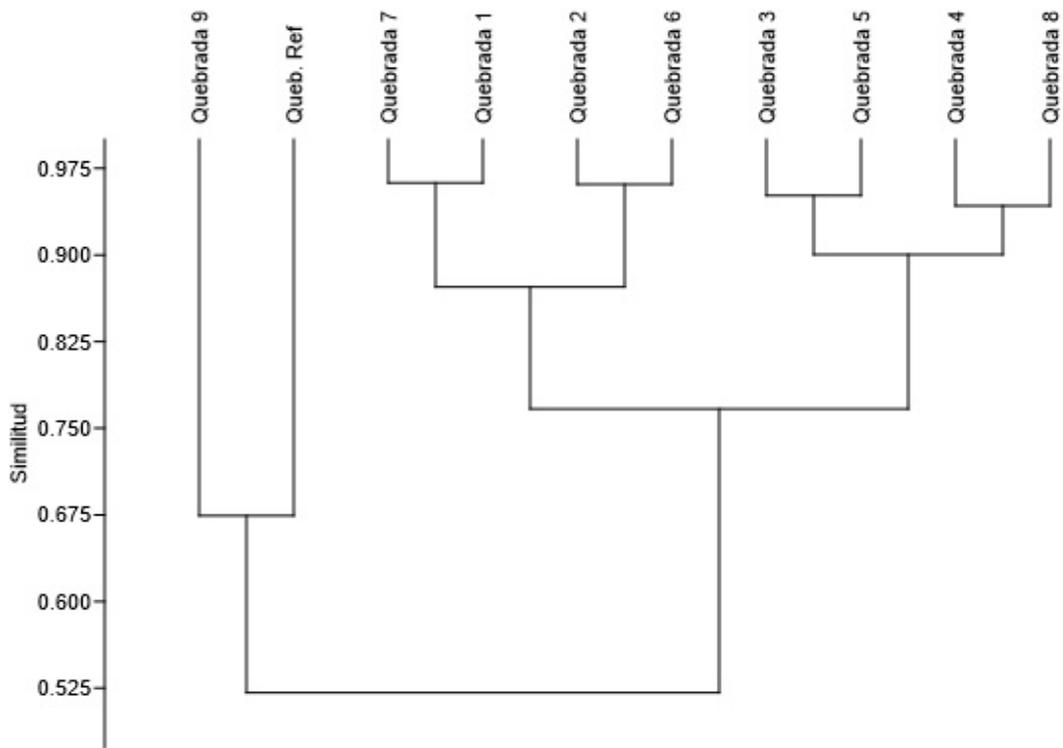


Figura 8. Dendrograma de acuerdo con el índice de similitud de Bray-Curtis, para el índice de diversidad de Shannon-Wiener total (H'); e índice de dominancia de Simpson total (D) de náyades de odonatos; valores promedio de conductividad, pH, temperatura, turbidez, caudal máximo; parches boscosos, y cultivo de café con sombra, en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, en abril, julio, y octubre del 2015. Queb. Ref.: Quebrada Referencia

El 20% de las quebradas investigadas tuvieron un estado ecológico “Pobre”; solo la Quebrada de Referencia presentó un estado ecológico “Excelente” (Cuadro 6, Fig. 9).

Cuadro 6. Medidas de manejo para diez quebradas investigadas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015. Ref.: Referencia

| Quebrada | Características | Estado ecológico | Recomendaciones de manejo |
|----------|--|------------------|--|
| 1 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con arbustos de café; 3-4 microhábitats presentes; no hay caminos en la zona de ribera (<10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Bueno | Revegetación de parches boscosos con especies nativas para el control de la escorrentía superficial. Así mismo, se puede considerar el uso de abonos verdes (como las leguminosas) para el aporte de nutrientes y el aumento de la fertilidad del suelo. |
| 2 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con arbustos de café y especies invasoras; 3-4 microhábitats presentes; hay caminos en la zona de ribera (5-10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Regular | Revegetación de parches boscosos con especies nativas para el control de la escorrentía superficial. Emplear el uso de barreras vivas y cultivos de cobertura en los “trillos”, que sirvan de supresoras de malezas, barreras rompevientos, aporte de nutrientes, reducción de daños mecánicos y compactación del suelo. |

| Quebrada | Características | Estado ecológico | Recomendaciones de manejo |
|----------|--|------------------|---|
| 3 | Banco estable, cubierto de vegetación; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con especies invasoras; 5 o más microhábitats presentes; hay caminos en la zona de ribera (5-10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Bueno | Revegetación con especies nativas en parches boscosos, de manera que las condiciones ambientales se mantengan o mejoren para el establecimiento de las náyades. |
| 4 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con pastos y especies invasoras; 3-4 microhábitats presentes; no hay caminos en la zona de ribera (<10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Regular | Revegetación con especies nativas en parches boscosos, de manera que las condiciones ambientales se mantengan o mejoren para el establecimiento de las náyades. El aumento de la cobertura de ribera propicia una mayor entrada de hojarasca a la quebrada. |
| 5 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por arbustos de café; 5 o más microhábitats presentes; hay caminos justo al lado de la quebrada (<5 m de distancia de la quebrada); hay ganado y caballos en la zona de ribera de la quebrada. | Pobre | Aumentar la cobertura de los parches boscosos; sobre todo para mejorar la infiltración del agua, mitigar la escorrentía superficial y el lavado de nutrientes del suelo. Con respecto al pisoteo, el uso de herbáceas no invasivas permite mejorar la estructura compactada del suelo en las riberas. |
| 6 | Hay erosión por todo el banco, hay derrumbes; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por arbustos de café; 3-4 microhábitats presentes; hay caminos justo al lado de la quebrada (<5 m de distancia de la quebrada); hay ganado y caballos en la zona de ribera de la quebrada. | Pobre | Aumentar la cobertura de los parches boscosos; sobre todo para evitar los movimientos en masas, mejorar la infiltración del agua, mitigar la escorrentía superficial, y el lavado de nutrientes del suelo y agroquímicos asociados. Con respecto al pisoteo, el uso de herbáceas no invasivas, permite mejorar la estructura compactada del suelo en las riberas. |

| Quebrada | Características | Estado ecológico | Recomendaciones de manejo |
|----------|---|------------------|---|
| 7 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con arbustos de café y plantas de banano; 3-4 microhábitats presentes; hay caminos en la zona de ribera (5-10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Bueno | A pesar de tener cobertura media en parches boscosos se debe propiciar la revegetación en las riberas. Con respecto a la cobertura de árboles dentro del cultivo, es más baja que en otras quebradas, por lo que se pueden emplear otras especies de arbustos o árboles (como frutales) que den sombra y estratos para disminuir la velocidad de las lluvias y con ello, se reduzcan la escorrentía. Una técnica que se utiliza en cafetales como trampa de sedimentos son los geotextiles, que son alternativas sencillas y de bajo costo. |
| 8 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por arbustos de café; 3-4 microhábitats presentes; hay caminos en la zona de ribera (5-10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Regular | Revegetación con especies nativas en parches boscosos, de manera que se mitiguen los procesos erosivos. Las condiciones ambientales se pueden mejorar, sobre todo la conductividad. Se pueden emplear abonos verdes y cultivos de cobertura como prácticas de conservación dentro del cultivo. |
| 9 | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada; <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con pastos y especies invasoras; 3-4 microhábitats presentes; hay caminos en la zona de ribera (5-10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Bueno | A pesar de tener cobertura media en parches boscosos, se debe revegetar con especies nativas en los parches boscosos para mejorar la estabilidad del suelo, disminuir la escorrentía superficial y propiciar la entrada de hojarasca al sistema acuático. |
| Ref. | Banco estable, cubierto de vegetación; >75% del cauce está sombreado por árboles en las orillas; la vegetación de ribera es diversa, compuesta de árboles grandes, arbustos y sotobosque; 5 o más tipos de microhábitats presentes; no hay caminos en la zona de ribera (<10 m de distancia de la quebrada); no hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. | Excelente | No intervenir para no alterar los procesos naturales. |

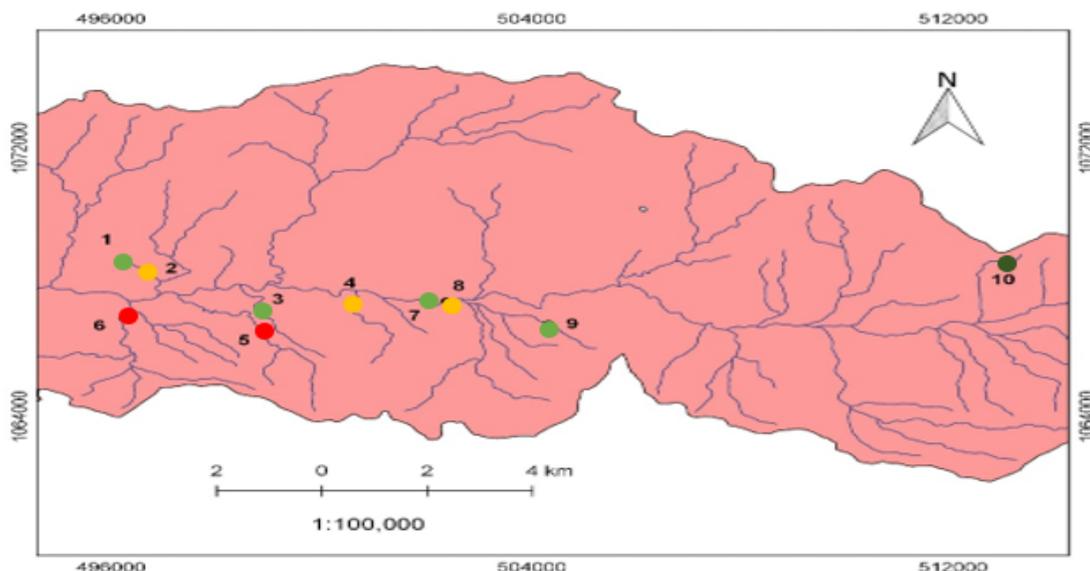


Figura 9. Estado ecológico según el Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas (Bjorkland *et al.* 2001), en 10 quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.

4. Discusión

4.1. Náyades de odonatos

Las náyades de libélulas recolectadas habitan una diversidad de hábitats acuáticos tanto lóticos como lénticos. La composición del lecho rocoso de las quebradas evaluadas, así como la presencia de rápidos con materia orgánica y macrófitas o pozas; y los bancos de arena, permiten el adecuado establecimiento de náyades de odonatos y benefician su presencia. De acuerdo con Sabater *et al.* (2009), los microhábitats ofrecen un complejo de espacios que pueden favorecer muchos grupos de náyades de libélulas, lo cual concuerda con las variadas estrategias de aprovechamiento de este grupo taxonómico, tales como, movimientos lentos en espera de sus presas (Ramírez 2010).

La abundancia total de náyades de libélula de la presente investigación (n=527) fue similar a lo reportado por Giraldo *et al.* (2014) (n=536), en 21 quebradas pequeñas de la cuenca del río La Vieja, Colombia, asociadas a franjas de vegetación nativa de ribera y cultivos (café, banano, y pastos).

Similar con este estudio, en otras latitudes como Cundinamarca y Santander en Colombia; así como en Costa Rica (específicamente en Alajuela), se asocian ambientes acuáticos continentales con cafetales, donde se han recolectado individuos pertenecientes a *Hetaerina*, *Argia*, *Brechmorhoga*, y *Perithemis* (Fernández y Springer 2008, Galindo-Leva *et al.* 2012).

En cuanto a la mayor abundancia de *Hetaerina* se evidencia que los ecosistemas evaluados tienen acumulaciones de hojas, vegetación sumergida en las márgenes y rápidos; por lo que, según Ramírez (2010), son microhábitats típicos, donde se pueden encontrar individuos de ese género. *Hetaerina* también fue el grupo taxonómico más recolectado en la cuenca alta del río La Antigua (México), donde la matriz ambiental está conformada por bosque de ribera nativo, pastos, y cafetales (García-García *et al.* 2017). Hay que tener en cuenta que *Hetaerina* puede tener mayores facilidades adaptativas a efectos antrópicos, como las quebradas asociadas a cafetales del estudio, o naturales como sequías; dada la capacidad de soportar cierto grado de contaminación (Sagastizado 2001, Fernández y Springer 2008).

En cuanto a *Archilestes*, *Brachymesia?*, y *Micrathria* fueron recolectados en las Quebradas 8, 2, y 1 las cuales son sitios con poco flujo, similar a lo que apuntan Garrison *et al.* (2006, 2010) relacionado a sus hábitats.

En particular, el único individuo recolectado de *Cordulegaster* se reportó en el Sitio de referencia, donde se detectó 100% de parches boscosos y un valor promedio de temperatura de 12,65°C ($\pm 0,11$). Rahayu *et al.* (2009), Sermeño *et al.* (2010), Román-Heracleo y Guerrero (2016) también registran este patrón. La información obtenida en la presente investigación podría suponer la relevancia de un ambiente con nula o escasa intervención para *Cordulegaster* sp.

Los géneros *Erythrodiplax*, *Perithemis*, y *Tholymis*, tienen capacidad de sobrevivir a una condición de contaminación moderada a alta, tal y como lo señala Ramírez (2010); mientras que, *Archaeogomphus?*, *Neocordulia*, y *Brechmorhoga* se recolectaron en quebradas con la presencia de algunos parches de bosque ($\bar{x} \leq 14\%$). El patrón de distribución de estas especies coincide con Schmidt *et al.* (2011) y Silva *et al.* (2018), los cuales realizaron investigaciones en quebradas de Brasil con alteraciones antrópicas, pero que aún conservaban parches de bosque de ribera nativos.

Con respecto a los 10 ambientes lóticos estudiados, los cambios en las condiciones ambientales (ya sean de carácter antropogénico o natural), se pueden relacionar con la abundancia, riqueza, diversidad, y dominancia de las náyades de Odonata (Guevara 2008, 2011, Altamiranda-S. *et al.* 2010). Las alteraciones de origen antrópico que se observaron en las quebradas estudiadas, tales como la deforestación del bosque de ribera, la contaminación por aguas residuales residenciales e industriales (caficultura), la ganadería, y la introducción de especies exóticas como la trucha, son reconocidos como limitantes para el desarrollo de poblaciones abundantes de náyades de odonatos (García-García *et. al.* 2017).

En el caso de los ambientes acuáticos lóticos investigados, la variabilidad estacional es relevante para el establecimiento de las poblaciones de náyades de Odonata (Huston 1994, Álvarez 2009). El periodo de transición fue más abundante que el periodo seco debido principalmente a los eventos esporádicos de crecidas de las quebradas y; por ende, cambios en la estabilidad de los microhábitats, generando un proceso de desplazamiento pasivo o activo, denominado deriva (Ramírez y Pringle 1998 b, 2001; Aguirre-Pabón *et al.* 2012). Este proceso se da por la búsqueda de nuevos sitios de alimentación, cambios en la calidad del agua, crecidas en la quebrada, o para huir de depredadores (Hanson *et al.* 2010).

En relación con las diferencias de abundancia de cada género de náyades de Odonata entre los meses de muestreo como lo arrojó el PERMANOVA, Vásquez-Ramos *et al.* (2014) señalan que una de las razones de los incrementos en la diversidad de náyades de libélulas, es la presencia de rápidos con materia orgánica alóctona (hojarasca), macrófitas, pozas, y bancos de arena, similar a lo detectado en la Quebrada 1.

Acerca de la ordenación nMDS, las Quebradas 1 al 9 pueden ser similares en términos de las variables físicas detectadas en los ecosistemas evaluados y su interacción con los efectos antrópicos asociados a los cafetales del estudio; por el contrario, la Quebrada de Referencia se encontró rodeado de 100% de parches boscosos, en condiciones casi inalteradas antrópicamente (Beatriz-Gutiérrez, obs. pers.). Ward (1992) señala que la corriente, el sustrato, los sólidos disueltos, y la temperatura en los ambientes dulceacuícolas son algunas de las principales variables que se relacionan con el establecimiento de los macroinvertebrados acuáticos.

4.2. Náyades de odonatos y factores ambientales

Las náyades de Odonata tienen diferentes tolerancias hacia los parámetros físicos del agua. Así pues, los valores promedio registrados de conductividad son adecuados para el desarrollo de los individuos. En el caso de la investigación de Avilés (2017) se reportó valores promedio de conductividad constantes y superiores a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la mayoría de los lugares, los cuales son valores similares a las Quebradas 3, 4, y 5.

El pH y temperatura en sus valores promedios son apropiados para el establecimiento de náyades de libélulas (Guevara 2011, Astudillo *et al.* 2014). A causa de la plasticidad que tienen estos individuos (Stoks *et al.* 2004) posiblemente el pH y la temperatura no fueron factores ambientales determinantes en abundancia ni diversidad en las quebradas estudiadas. El pH osciló entre 6,5-8,0, coincidente con el estudio de Guevara (2011), y los valores obtenidos para las temperaturas fueron similares a los de Astudillo *et al.* (2014), que también hicieron una investigación en quebradas perennes con un gradiente altitudinal aproximado a los 10 ambientes lóticos estudiados de Tarrazú, recolectando *Argia*, *Brechmorhoga*, *Hetaerina*, *Perithemis*, y *Archilestes*.

Otro punto es que las Quebradas 1 al 9 presentaron cierta evidencia de degradación, lo cual fue notable por el incremento en la turbidez si se compara con la Quebrada de Referencia. Los géneros recolectados como *Argia*, *Erythrodiplax*, *Hetaerina*, *Perithemis*, y *Tholymis*, son tolerantes a cierto grado de contaminación. En particular la turbidez de los ambientes acuáticos lóticos puede ser alóctona u autóctona, debido a que en los trópicos las precipitaciones son altas y frecuentes, convirtiéndose en uno de los factores más relevantes en los sistemas acuáticos (Roldán 2003). Aunado a esto, se da un aporte de la actividad cafetalera cercana a los sistemas lóticos estudiados, además, las Quebradas 1, 5, 6, y 9 tienen muy poca vegetación de ribera, combinado con arbustos y plantas exóticas (Beatriz-Gutiérrez, obs. pers.), lo cual podría favorecer a un mayor aporte de sólidos en suspensión a estos sistemas acuáticos.

De igual importancia los valores obtenidos de caudales máximos promedios para todas las quebradas contribuyen a mantener la heterogeneidad de los microhábitats para las náyades de odonatos, lo que puede aumentar la resiliencia de los ambientes acuáticos lóticos estudiados a los cambios antrópicos o de origen natural. Por ello, la variabilidad temporal en el caudal de una quebrada es de gran importancia ecológica ya que se relaciona con la distribución de los organismos y con, la retención de nutrientes en los ecosistemas fluviales (Elosegi *et al.* 2009, Martí y Sabater 2009).

Por otra parte, la estructura del bosque de ribera es uno de los principales factores que influye en la diversidad de insectos acuáticos (Nessimian *et al.* 2008, Contreras-Martínez 2013); sin embargo, la cobertura de árboles de ribera no fue una variable determinante de la abundancia o diversidad de las náyades de Odonata. El trabajo realizado por Chellaiaha y Yule (2018) en ambientes dominados por la presencia de cultivos de palma aceitera detectaron la importancia del bosque de ribera para mitigar los efectos de estos monocultivos en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en quebradas tropicales de Borneo, siendo la estructura de la vegetación de ribera un elemento que favorece la retención de partículas y nutrientes que pueden llegar por escorrentía (Elosegi y Díez 2009).

Lo anteriormente expuesto, asociado al ciclo de vida de las náyades de libélula, y otros factores ambientales no investigados en las quebradas como el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, y el nitrógeno amoniacal (Guevara 2008) podrían ser condicionantes para estimar la abundancia y riqueza de las náyades de odonatos en las quebradas del área de estudio.

4.3. Determinación del estado ecológico de las quebradas y su manejo

En Costa Rica uno de los principales lugares donde se cultiva café es Tarrazú, zona de Los Santos; en dicha zona la caficultura es el principal uso que se le da a la tierra (Chinchilla *et al.* 2011 a, SEPSA 2011). Así pues, las Quebradas investigadas 1, 5, 6, y 9, se contabilizaron pocos árboles nativos en el bosque de ribera, incluso el cultivo de café estuvo cerca de las zonas de protección de ribera (Beatriz-Gutiérrez, obs. pers.).

En general, la topografía de los sitios estudiados es muy abrupta, lo cual favorece a la incidencia de deslizamientos y sedimentación en los cauces, lo cual pudo afectar las quebradas (Beatriz-Gutiérrez, obs. pers.). Sin embargo, los valores promedio de los parámetros físicos del agua no mostraron evidencias que indiquen restricciones para la permanencia de náyades de libélulas en las quebradas estudiadas. Azrina *et al.* (2005) evidenciaron como los cambios antrópicos en la matriz ambiental del río Langat (Malasia) tuvieron impactos negativos en la biodiversidad y distribución de *Argia* y *Hetaerina*, y en general de los macroinvertebrados bénticos y la calidad del agua superficial.

Las Quebradas 1, 2, 3, 4, y 8 registraron un porcentaje de cultivo de café con sombra medio (entre 15-39%).

En el caso de las Quebradas 5 y 6 obedece a un aspecto socioeconómico, donde las fincas iniciaron un proceso de certificación *Rainforest Alliance*, de la Red de Agricultura Sostenible (2010), la cual estipula una densidad mínima de cultivo de café con sombra (aproximadamente 40%). La condición observada podría explicar los patrones de agrupación observados en el dendrograma de similitud de Bray-Curtis.

La Red de Agricultura Sostenible (2010) destaca la importancia del restablecimiento de los bosques nativos de ribera, los cuales son esenciales para la conservación y protección de los ambientes acuáticos continentales. El bosque de ribera proporciona la hojarasca, un tipo de material autóctono que los macroinvertebrados acuáticos colonizan, sea que la utilicen para alimentarse, para refugio, o para hallar presas como las náyades de libélula (Benstead 1996, Hanson *et al.* 2010). Además, la cobertura del bosque de ribera influye en el proceso de descomposición de la hojarasca, la cual beneficia a los insectos acuáticos y otros organismos (Pettit *et al.* 2012).

En la presente investigación se encontró que el mayor valor de D total se dio en aquellas quebradas que tuvieron parches boscosos con cobertura media del dosel. Estos resultados sugieren que las náyades de libélulas recolectadas, exceptuando *Cordulegaster*, podrían adaptarse más fácilmente a los cambios que se den en el bosque de ribera, sean antrópicos y naturales, lo cual es similar a lo reportado por Gómez (2008) en el arroyo la Chichihua (México), y que pueden establecerse en diversas condiciones físicas del agua.

En esta investigación hubo quebradas con porcentaje de cobertura baja, media y alta. Las quebradas que presentaron una cobertura baja ($\leq 14\%$), la tendencia fue al aumento en la dominancia, diversidad, y conductividad; en tanto que, quebradas con cobertura alta ($\geq 40\%$), ocurrió lo inverso. A nivel general, las náyades de odonatos recolectadas pudieron ser más dominantes en quebradas con parches boscosos con cobertura media (=15-39%), bien sea por la cobertura de sombra en cafetales o por la presencia de parches en sus márgenes (Cuadro 5); esto podría deberse a que las náyades de libélulas son fototropistas positivos (Herrera com. pers. 2018).

La cobertura media favoreció la existencia de sombra y por ende una temperatura más baja en el agua. Esto concuerda con lo que plantean García-García *et al.* (2017), donde uno de los factores principales para la presencia de náyades de libélulas son las temperaturas que oscilan entre 13-18°C, lo cual coincide con la presente investigación.

Enfatizando el manejo que tienen estas quebradas (cultivos de café con sombra y un porcentaje medio de cobertura, en su mayoría), se debe tener una visión de manejo integral del ambiente acuático; ya que para que exista una sostenibilidad constante en los recursos disponibles para los insectos, debe existir un relativo equilibrio en todo el sistema; de forma que, si hay un aprovechamiento mayor del recurso suelo (cultivos de café), esto puede interferir en la sedimentación que llegue al cauce y, por ende, afectar la presencia de náyades de odonatos. Si por otro lado, hay menos cobertura en las márgenes de la quebrada, eso puede traducirse en una mayor escorrentía superficial, acarreado contaminantes de uso agrícola, que no fueron contemplados en el estudio pero que también podrían modificar el régimen fluvial y alterar los patrones de comportamiento de las náyades de Odonata. Por ello, es importante establecer un plan de gestión de cuencas con diferentes actores y gobierno local, desde la unidad mínima de manejo (quebradas y microcuencas) y asegurar la permanencia de este y otros tipos de organismos a través del tiempo.

Por otra parte, una posible explicación para el agrupamiento de las quebradas estudiadas según la ordenación nMDS, es la agregación en momentos de concentración biogénica (*hot spots*) (Wantzen y Rueda-Delgado 2009) particulares en las interacciones de los bosques de ribera – quebradas, y viceversa, con las náyades de Odonata. En quebradas de la Estación Biológica La Selva (Costa Rica), Ramírez *et al.* (2003), y Ramírez y Pringle (2004), señalan que cuando las condiciones biogeoquímicas son favorables relacionadas con la producción primaria, se da una gran abundancia de insectos acuáticos.

En términos de las implicaciones de conservación y manejo de las quebradas investigadas, se da una predisposición de la conductividad a disminuir conforme aumenta el porcentaje de parches boscosos. Esto pone en evidencia la importancia de la vegetación de ribera para contribuir a controlar la erosión en los ambientes acuáticos lóticos estudiados, siendo similar con Giraldo *et al.* (2014) en quebradas del río La Vieja (Colombia), con una cobertura de dosel mayor al 50%, pero con extracción frecuente de leña y madera.

La presencia de una franja de bosque de ribera reduce la contaminación por escorrentía superficial que pueden alcanzar los sistemas acuáticos producto de la agricultura (NWCC 1998, Rios y Bailey 2006). Galindo-Leva *et al.* (2012) señalan que las quebradas que presentaron una cobertura alta de los árboles de sombra en el cafetal ($\geq 40\%$) mostraron una temperatura adecuada para la conservación de náyades de odonatos y de otros insectos acuáticos, como se dio en esta investigación; pero también, una cobertura media (entre 15-39%) de cultivo de café con sombra refleja ese patrón, lo que señala la importancia del bosque de ribera para mejorar en términos generales el estado ecológico de los ambientes acuáticos continentales que se estudiaron.

Aunado a esto, el PEVQ fue una herramienta que permitió complementar la interpretación sobre el estado ecológico de las quebradas. Este Protocolo también fue utilizado por Silvano *et al.* (2005), Werner (2012) (Brasil), Galindo-Leva *et al.* (2012) (Colombia), entre otros.

Según Chinchilla *et al.* (2011 a), la cuenca media del río Pirrís presenta tierras clase VI y VII; esto supone mayores limitaciones en cuanto a su capacidad de uso; sobre todo debido al relieve escarpado, erosión sufrida, baja fertilidad, y altas tasas de escorrentía. Por ello, se debe enfatizar en prácticas intensivas de conservación de agua y suelos. El cultivo de café en asociación con cultivos como el banano (*Musa spp*), el poró (*Erythrina poeppigiana*), árboles frutales y plantas de porte bajo como las herbáceas, podrían ser aptos para una multiestratificación, con lo cual, se mejoran notablemente las características de los parches boscosos de ribera (Alvarado y Zúñiga 2018).

La pérdida de cobertura vegetal, ausencia de técnicas de control de la erosión, invasión de la zona de protección, entre otros factores en algunos sitios de la región de Tarrazú, evidencian un alto riesgo de degradación (Chinchilla *et al.* 2011 a). Es por ello que las acciones de manejo deben ir enfocadas con una visión de cuenca hidrográfica, con la intervención de autoridades para una mayor planificación del uso de las tierras, reducir el impacto en zonas de recarga acuífera y el bosque de galería, sobre todo para reducir la escorrentía.

El conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas del hábitat es fundamental, pues la riqueza taxonómica de las náyades de odonatos podría variar en respuesta a cambios en estas características. Así, estos organismos brindan una idea del grado de impacto de los cambios ambientales en las aguas donde habitan (Villeda-Callejas *et al.* 1999).

Estudios de Samways y Steytler (1996), Hornung y Rice (2003), Fincke y Hedström (2008), Gómez (2008), Altamiranda-S. *et al.* (2010), Gómez-Anaya *et al.* (2011), Guevara y Madrigal (2011), Altamiranda-S. y Ortega-M. (2012), Fulan y Henry (2013), Hart *et al.* (2014), entre muchos otros, han recurrido a las libélulas tanto en estadio náyade como adultos a manera de indicadores biológicos, para medir el estado de salud de quebradas. Las náyades de Odonata tienen funciones importantes en la dinámica poblacional de otros invertebrados acuáticos (Hanson *et al.* 2010), y un papel fundamental en las interacciones que se dan en los ambientes acuáticos continentales, por lo que este grupo taxonómico puede ser usado como un bioindicador, tal y como se resalta en este estudio.

5. Conclusiones

- *Hetaerina* fue recolectada en la mayoría de las quebradas investigadas, lo que podría reflejar la adaptabilidad de este género a los cambios ambientales, sean de origen antropogénico o natural.
- Cambios antrópicos que se vieron en las quebradas investigadas, podrían limitar las poblaciones de náyades de libélulas.
- El porcentaje de cobertura media (igual a 15-39%) de los árboles de sombra dentro del cultivo de café, contribuyó para que en las quebradas estudiadas se diera una mayor D total de las náyades de libélula.
- El valor más alto de dominancia total de las náyades de libélula recolectados, se presentó en aquellas quebradas que tuvieron parches de bosque con cobertura media del dosel.
- Los ambientes acuáticos lóticos investigados presentaron cierta evidencia de degradación, lo cual fue notable por la recolección de géneros como *Argia*, *Erythrodiplax*, *Hetaerina*, *Perithemis*, y *Tholymis*, los cuales son tolerantes con cierto grado de contaminación.
- A partir de las variables físicas del agua: conductividad, pH, temperatura, turbidez, y el caudal máximo, no se observaron valores nocivos para el desarrollo de las poblaciones de náyades de libélula.
- En términos generales, según el PEVQ la mayoría de las quebradas presentó un estado ecológico Bueno.

6. Recomendaciones

- El ancho del bosque de ribera, el material de retención, y la vegetación acuática, son algunos de los factores que podrían ser investigados para comprender mejor la composición taxonómica de las comunidades de náyades de odonatos.
- Realizar estudios de náyades de Odonata aguas abajo, ya que la cantidad de organismos en deriva podría cambiar la abundancia y riqueza de los ambientes acuáticos lóticos estudiados.
- Investigar la calidad de la estructura, y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos lóticos, así como el uso del suelo con especies de náyades de *Hetaerina*.
- Para complementar las variables físicas analizadas, se debe medir al menos el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, y el nitrógeno amoniacal.
- Implementar acciones que promuevan la conservación de los ambientes acuáticos lóticos investigados, tales como el mantenimiento de la cobertura media de los árboles (=15-39%), tanto en los parches boscosos como en el cultivo de café con sombra.
- Promover a que más Caficultores adopten en sus fincas las prácticas de conservación mencionadas.
- Impulsar a Coopetarrazú, la Municipalidad de Tarrazú, y a cualquier otra institución pública o privada interesada, al uso del Programa de Pago de Servicios Ambientales, esto para continuar con la preservación de los parches de bosques de ribera que aún quedan, y por ende, beneficiándose la calidad del ecosistema acuáticos.
- En el PEVQ también se podrían utilizar los siguientes parámetros: sustrato y compactación del sustrato por sedimento.

7. Bibliografía

- Aguirre-Pabón, J., J. Rodríguez-Barrios & R. Ospina-Torres. 2012. Deriva de macroinvertebrados acuáticos en dos sitios con diferente grado de perturbación, río Gaira, Santa Marta – Colombia. *Rev. Intropica* 7: 9-19.
- Altamiranda-S., M., L. Pérez-G. & L. Gutiérrez-M. 2010. Composición y preferencia de microhábitat de larvas de Odonata (Insecta), en la Ciénaga San Juan de (Atlántico, Colombia). *Caldasia* 32 (2): 399-410.
- Altamiranda-S. M. & O. Ortega-M. 2012. Estructura poblacional de *Polythore gigantea* (Odonata: Polythoridae) en sistemas lóticos con diferentes estados de conservación en Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 60 (3): 1205-1216.
- Alvarado, V. & M. Zúñiga. 2018. Plantas nativas para el control de la erosión. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 162p.
- Álvarez, M. 2009. Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la directiva marco del agua. Tesis de Doctorado. Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, ESP. 177 p.
- Arias, A. 2001. Suelos tropicales. Editorial EUNED. San José, Costa Rica. 188 p.
- Astudillo, M., A. Ramírez, R. Novelo-Gutiérrez & G. Vázquez. 2014. Descomposición de hojarasca en seis arroyos de Bosque Mesófilo de Montaña en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 62 (Supl. 2): 111-127.
- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez & M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 30 (8): 32-35.

- Avilés, L. 2017. Efecto de la intermitencia de flujo en el ensamble de los macroinvertebrados acuáticos y en las características físico-químico en cinco cuerpos de agua estacionales. Tesis de Licenciatura en Biología con énfasis en Ecología y Gestión de Ambientes Acuáticos. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, CRI. 95 p.
- Azrina, M., C. Yap, A. Rahim, A. Ismail & S. Tan. 2005. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 64 (3): 337-347.
- Barquero, M. & A. Rodríguez. 2014. La zona de Los Santos predomina en lista de cafés más finos de Costa Rica. *Economía. La Nación* (02 de junio del 2014, http://www.nacion.com/economia/agro/Region-Santos-predomina-cafes-finos_0_1414658547.html).
- Beer, J., R. Muserchler, D. Kass & E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Benstead, J. 1996. Macroinvertebrates and the processing of leaf litter in a tropical stream. *Biotropica* 28 (3): 367-375.
- Bjorkland, R., C. Pringle & B. Newton. 2001. A stream visual assessment protocol (SVAP) for riparian landowners. *Environmental Monitoring and Assessment* 68 (2): 99-125.
- Bouchard, R. 2004. Odonata (Dragonflies & Damselflies). Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest. Ed. Uni. of Minnesota. Saint Paul, USA. 65-73 p.
- Castillo, L., C. Ruepert, F. Ramírez, B. van Wendel, V. Bravo & E. de la Cruz. 2012. Plaguicidas y otros contaminantes. Informe Final. Estado de la Nación, Costa Rica. Periodo 2012. 34 p.

- Chacón, I. 2002. Ciclos de materia, flujo de energía y procesos vitales. En: S. Amador (Com.). Contextos ecológicos costarricenses a finales del siglo XX. Ed. UCR. San José, Costa Rica. pp. 69-90.
- Chellaiaha, D. & C. Yule. 2018. Riparian buffers mitigate impacts of oil palm plantations on aquatic macroinvertebrate community structure in tropical streams of Borneo. *Ecological Indicators* 95: 53–62.
- Chinchilla, M., A. Alvarado & R. Mata. 2011 a. Capacidad de las tierras para uso agrícola en la subcuenca media-alta del río Pirrís, Los Santos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 35 (1):109-130.
- Chinchilla, M., A. Alvarado & R. Mata. 2011 b. Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca de río Pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 35 (1):33-57.
- Clarke, K., R. Gorley, P. Somerfield & R. Warwick. 2014. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 3rd edition. PRIMER-E Ltd. Devon, United Kingdom. 262 p.
- Contraloría General de la República de Costa Rica (CGR). 2013. Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos. Informe Nro. DFOE-AE-IF-01-2013. Contraloría General de la República de Costa Rica. Periodo 2013. 69 p.
- Contreras-Martínez, E. 2013. Diversidad de entomofauna acuática en tres ríos de la Ecoregión Darién, Choco biogeográfico (Colombia). *Dugesiana* 20 (2):243-250.
- Corrêa do Carmo, A., B. Finegan & C. Harvey. 2001. Evaluación y diseño de un paisaje fragmentado para la conservación de biodiversidad. *Revista Forestal Centroamericana*: 35-41.
- Costa, C., S. Ide & C. Simonka. 2006. Insectos inmaduros metamorfosis e identificación. m3m. Aragón, España. 218 p.

- Cuevas-Reyes, P. 2010. Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación. *Biológicas* 12 (1): 1-7.
- Danse, M. & F. Bolaños. 2002. Reconversión del beneficiado de café en procura de la sostenibilidad. *Ambientico* 101: 10-12.
- de Jesús-Crespo, R., (2012) *Collaboration with the Rainforest Alliance™ to promote stream protection in tropical agro-ecosystems*, Odum School of Ecology, The University of Georgia, United State of America. Not published manuscript. 76 p.
- de Jesús-Crespo, R. 2015. Stream friendly coffee: collaborating with the Rainforest Alliance™ to advance stream conservation in tropical agroforestry systems. Tesis de Doctorado con énfasis en Conservación Integral. Odum School of Ecology, The University of Georgia, USA. 169 p.
- de la Lanza, G. 2000. Criterios generales para la elección de bioindicadores. En: G. de la Lanza, S. Hernández & J. Carbajal (Com.). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Ed. Plaza y Valdés. México, D.F., México. pp. 17-42.
- de Souza, L., J. Martins & B. Botelho. 2007. Guia on-line de identificação de larvas de insetos aquáticos do Estado de São Paulo: Odonata. Universidade de São Paulo (29 de julio del 2013, http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Guia_online/Guia_online_Odonata_Vers%C3%A3o_1%C3%9F2.0.pdf).
- Dijkastra, K., G. Bechly, S. Bybee, R. Dow, H. Dumont, G. Fleck, R. Garrison, M. Hämäläinen, V. Kalkman, H. Karube, M. May, A. Orr, D. Paulson, A. Rehn, G. Theischinger, J. Trueman, J. Van Tol, N. Von Ellenrieder & J. Ware. 2013. The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). *Zootaxa* 3703 (1): 36–45.

- Dixon, I., M. Douglas, J. Dowe & D. Burrows. 2006. Tropical rapid appraisal of riparian condition version 1 (for use in tropical savannas). *In*: S. Lovett & P. Price (Eds.). River and riparian land management technical guideline 7. Ed. LWRRDC. New South Wales, AUS. pp.1-36.
- Elosegi, A. & J. Díez. 2009. La vegetación terrestre asociada al río: el bosque de ribera. *En*: A. Elosegi & S. Sabater (Eds). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Ed. Fun. BBVA. País Vasco, España. pp. 309-321.
- Elosegi, A., A. Butturini & J. Armengol. 2009. El caudal circulante. *En*: A. Elosegi & S. Sabater (Eds). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Ed. Fun. BBVA. País Vasco, España. pp. 49-69.
- Estado de la Nación. 2013. Decimonoveno informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible. Armonía con la naturaleza. Informe. Programa Estado de la Nación, Costa Rica. Periodo 2013. 51 p.
- Fernández, L. & M. Springer. 2008. El efecto del beneficiado del café sobre los insectos acuáticos en tres ríos del Valle Central (Alajuela) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56 (Suppl. 4): 237-256.
- Fincke, O. & I. Hedström. 2008. Differences in forest use and colonization by Neotropical tree-hole damselflies (Odonata: Pseudostigmatidae): Implications for forest conversion. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 43 (1): 35-45.
- Fulan, J. & R. Henry. 2013. A comparative study of Odonata (Insecta) in aquatic ecosystems with distinct characteristics. *Ambiência* 9 (3): 549-604.
- Galindo-Leva, L., L. Constantino-Chuaire, P. Benavides-Machado, E. Montoya-Restrepo & N. Rodríguez-Valencia. 2012. Evaluación de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua en quebradas de fincas cafeteras de Cundinamarca y Santander, Colombia. *Revista Cenicafe* 63 (1): 70-92.

- Gamboa, M., R. Reyes & J. Arrivillaga. 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* 48 (2): 109-120.
- García, E. 2002. Impacto de las actividades agropecuarias sobre el ambiente. En: S. Amador (Com.). *Contextos ecológicos costarricenses a finales del siglo XX*. Ed. UCR. San José, Costa Rica. pp. 143-176.
- García-García, P., G. Vásquez, R. Novelo-Gutiérrez & M. Favila. 2017. Effects of land use on larval Odonata assemblages in cloud forest streams in central Veracruz, Mexico. *Hydrobiologia* 785: 19–33.
- Garrison, R., N. von Ellenrieder & J. Louton. 2006. *Dragonfly genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera*. The Johns Hopkins University Press. Maryland, Estados Unidos de América. 368 p.
- Garrison, R., N. von Ellenrieder & J. Louton. 2010. *Damselfly genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Zygoptera*. The Johns Hopkins University Press. Maryland, Estados Unidos de América. 528 p.
- Giraldo, L., J. Chará, M. Zúñiga, A. Chará-Serna & G. Pedraza. 2014. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 62 (Suppl. 2): 203-219.
- Gómez, A., J. Adolfo & E. Álvarez. 2005. Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín* 4 (7): 13-27.
- Gómez, J. 2008. *Ecología de los ensambles de larvas de odonatos (Insecta) y su uso potencial como indicadores de calidad ecológica en la Sierra de Coalcomán, Michoacán, México*. Tesis de Doctorado. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, MEX. 306 p.

- Gómez-Anaya, J., R. Novelo-Gutiérrez & W. Bruce. 2011. Diversity and distribution of Odonata (Insecta) larvae along an altitudinal gradient in Coalcomán mountains, Michoacán, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 59 (4): 1559-1577.
- Guevara, M. 2008. Evaluación de la calidad del agua en el río Ciruelas, Miramar, Puntarenas, mediante el uso de indicadores biológicos y su relación con el uso del suelo. Tesis de Licenciatura en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, CRI. 91 p.
- Guevara, M. 2011. Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 59 (2): 635-654.
- Guevara, M. & A. Madrigal. 2011. Manual de campo insectos acuáticos de la cuenca del río Peñas Blancas: aspectos ecológicos y aplicaciones en la determinación de la calidad del agua = Field guide aquatic insects in the Peñas Blancas watershed: ecological aspects and the determination of the water quality. Editorial ICE. San José, Costa Rica. 97 p.
- Gutiérrez, E. 2000. Métodos estadísticos para las ciencias biológicas. Editorial EUNA. Heredia, Costa Rica. 178 p.
- Gutiérrez-Fonseca, P. 2010. Plecoptera. *Revista de Biología Tropical* 58 (Suppl. 4): 139-148.
- Haber, W., D. Wagner & C. de la Rosa. 2015. A new species of *Erythrodiplax* breeding in bromeliads in Costa Rica (Odonata: Libellulidae). *Zootaxa* 3947 (3): 386–396.
- Haggar, J., C. Staver & E. de Melo. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio de interacciones entre plagas, fertilidad del suelo y árboles de sombra. *Agroforestería en las Américas* 29 (8): 49-51.
- Hammer, Ø., D. Harper & P. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. UiO, Museo de Historia Natural (05 de octubre del 2018, <http://folk.uio.no/ohammer/past/>).

- Hanson, P., M. Springer & A. Ramírez. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical* 58 (Suppl. 4): 3-37.
- Hart, L., M. Bowker, W. Tarboton & C. Downs. 2014. Species composition, distribution and habitat types of Odonata in the iSimangaliso Wetland Park, KwaZulu-Natal, South Africa and the associated conservation implications. *PLOS ONE* 9 (3): 1-11.
- Herrera, M. 2008. Calidad biótica en los principales ríos de la microcuenca del río Tibás y recomendaciones para el manejo de la red hídrica. Tesis de Licenciatura en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, CRI. 78 p.
- Holdridge, L. 1967. *Life Zone Ecology*. Ed. CCT. San José, Costa Rica. 149 p.
- Hornung, J. & C. Rice. 2003. Odonata and wetland quality in southern Alberta, Canada: a preliminary study. *Odonatologica* 32 (2): 119-129.
- Huston, M. 1994. *Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes*. Ed. Cambridge University. Region East, UK. 685 p.
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). 2010. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Informe preparado en el Instituto del Café de Costa Rica para los delegados al XXXIX Congreso Nacional Cafetalero Ordinario. Instituto del Café de Costa Rica, Costa Rica. Periodo 2010. 99 p.
- Jacobsen, D., C. Cressa, J. Mathooko & D. Dudgeon. 2008. Macroinvertebrates: composition, life histories and production. *In: D. Dudgeon (Ed.). Tropical stream ecology*. Ed. Elsevier Inc. Massachusetts, USA. pp. 65-105.
- Jensen, W. & F. Salisbury. 1988. *Botánica*. Editorial McGraw-Hill. Distrito General, México. 762 p.
- Kalkman, V., V. Clausnitzer, K.-D. Dijkstra, A. Orr, D. Paulson & J. Tol. 2008. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 351-363.

- Laidlaw, T. 1996. Adopte una quebrada. Editorial OET. San José, Costa Rica. 58 p.
- Madrigal, J. 2002. Diagnóstico de amenazas naturales, herramientas necesarias para los planes de ordenamiento territorial (POT) e implementación de medidas de prevención y mitigación para la protección del ambiente en la cuenca hidrográfica superior del río Pirrís (CHSRP), San José, Costa Rica. Tesis de Maestría Profesional en Gestión Integral para el Desarrollo de los Georecursos. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, CRI. 211 p.
- Mancilla, G., C. Valdovinos, M. Azócar, M. Henríquez & R. Figueroa. 2009. Aproximación multimétrica a la evaluación de la calidad del agua en cuencas con diferentes niveles de intervención antrópica. *Interciencia* 34 (12): 857-864.
- Martí, E. & F. Sabater. 2009. Retención de nutrientes en ecosistemas fluviales. En: A. Elosegí & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Ed. Fun. BBVA. País Vasco, España. pp. 115-132.
- Maue, T. & M. Springer. 2008. Effect of methodology and sampling time on the taxa richness of aquatic macroinvertebrates and subsequent changes in the water quality index from three tropical rivers, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56 (Suppl. 4): 257-271.
- Meléndez, L. 2009. Diseño del plan del manejo de la cuenca del río Pirrís. Tesis de Maestría en Administración de Proyectos. Universidad para la Cooperación Internacional, CRI. 161 p.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España (MAGRAMA). 2015. Estado y calidad de las aguas superficiales (02 de mayo del 2015, <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/concepto-estado/>).
- Morais, M., P. Pinto, P. Guilherme, J. Rosado & I. Antunes. 2004. Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. *Hydrobiologia* 516: 229-249.

- Moreno, M. 2011. Distribución espacial y temporal de las comunidades de náyades de odonatos en los humedales La Vaca y Santa María del Lago, Bogotá, Colombia. Tesis de Maestría. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, COL. 56 p.
- Naiman, R. & H. Décamps. 1997. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 28: 621-658.
- National Water and Climate Center (NWCC). 1998. Stream visual assessment protocol. National Water and Climate Center, USA. Period 1999. 36 p.
- Nessimian, J., E. Venticinque, J. Zuanon, P. De Marco, M. Gordo, L. Fidelis, J. D'arc & L. Juen. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614:117–131.
- Oertli, B. 2008. The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. *In: A. Córdoba-Aguilar (Ed.). Dragonflies & damselflies: model organisms for ecological and evolutionary research.* Ed. Oxford. New York, USA. pp. 79-95.
- Ordoñez, M. 2011. Influencia del uso del suelo y la cobertura vegetal natural en la integridad ecológica de los ríos altoandinos al noreste del Ecuador. Tesis de Maestría en Ecología con mención en Manejo de Recursos Naturales. Colegio de Postgrados, Universidad San Francisco de Quito, ECU. 53 p.
- Orozco, J. & K. Ruíz. 2002. Acuerdos voluntarios. En: Medio ambiente y desarrollo. Uso de instrumentos económicos para la gestión ambiental en Costa Rica. Ed. Naciones Unidas. Metropolitana de Santiago, Chile pp. 43-58.
- Ortiz-Malavasi, E. 2014. Atlas de Costa Rica (15 de setiembre del 2019, <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749?show=full>).

- Pettit, N., T. Davies, J. Fellman, P. Grierson, D. Warfe & P. Davies. 2012. Leaf litter chemistry, decomposition and assimilation by macroinvertebrates in two tropical streams. *Hydrobiologia* 680: 63–77.
- Posada, J. G. Roldán & J. Ramírez. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 48 (1): 59-70.
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En: E. Domínguez & H. Fernández (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fun. Miguel Lillo. Tucumán, Argentina pp. 631-654.
- Pusey, B. & A. Arthington. 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research* 54: 1-16.
- Rahayu, S., I. Suryadi, B. Vaebist, A. Dedecker, A. Mouton & M. Noordwijk. 2009. Water quality biomonitoring using macroinvertebrates in Way Besai, Sumberjaya, West Lampung. En: S. Takizawa, F. Kurisu & H. Satoh (Eds). *Southeast asian water environment*. Ed. IWA. London, UK. pp. 37-44.
- Ramírez, A. & C. Pringle. 1998 a. Structure and production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society* 17 (4): 443-463.
- Ramírez, A. & C. Pringle. 1998 b. Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland neotropical stream, Costa Rica. *Hydrobiologia* 386: 19–26.
- Ramírez, A. & C. Pringle. 2001. Spatial and temporal patterns of invertebrate drift in streams draining a Neotropical landscape. *Freshwater Biology* 46: 47–62.
- Ramírez, A., C. Pringle, & L. Molina. 2003. Effects of stream phosphorus levels on microbial respiration. *Freshwater Biology* 48: 88–97.

- Ramírez, A. & C. Pringle. 2004. Do macroconsumers affect insect responses to a natural stream phosphorus gradient? *Hydrobiologia* 515: 235–246.
- Ramírez, A., C. Pringle & K. Wantzen. 2008. Tropical stream conservation. *In*: D. Dudgeon (Ed.). *Tropical stream ecology*. Ed. Elsevier Inc. Massachusetts, USA. pp. 285-304.
- Ramírez, A. 2010. Odonata. *Revista de Biología Tropical* 58 (Suppl. 4): 97-136.
- Ramírez, A. 2014. Odonata de Costa Rica (17 de marzo del 2014, <http://www.ramirezlab.net/research/odonata>).
- Ramírez, A. 2016 a. Claves para identificar náyades de Odonata del Neotrópico. Náyades de Odonata de Centro América y el Caribe (26 de diciembre del 2016, <http://heteragrion.blogspot.com/p/familias.html>).
- Ramírez, A. 2016 b. Náyades de Odonata de Centro América y el Caribe: *Gomphidae*. Náyades de Odonata de Centro América y el Caribe (26 de diciembre del 2016, <http://heteragrion.blogspot.com/p/claves-genero.html>).
- Ramírez, A. 2016 c. Náyades de Odonata de Centro América y el Caribe: *Lestidae*. Náyades de Odonata de Centro América y el Caribe (26 de diciembre del 2016, <http://heteragrion.blogspot.com/p/claves-genero.html>).
- Rautner, M., M. Leggett & F. Davis. 2013. El pequeño libro de las grandes causas de la deforestación. Editorial Programa Global Canopy. Sudeste de Inglaterra, RU. 118 p.
- Red de Agricultura Sostenible. 2010. Norma para agricultura sostenible. 3ra Versión. Editorial RAS. San José, Costa Rica. 53 p.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad de agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial Uni. de Antioquia. Medellín, Colombia. 175 p.

- Román-Heracleo, J. & J. Guerrero. 2016. Primer registro de la familia Cordulegastridae Leach, 1815 (Insecta: Odonata) para el estado de Jalisco, México. *Dugesiana* 23 (1): 44.
- Sabater, S. & A. Elosegí. 2009. Presentación: importancia de los ríos. En: A. Elosegí & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Ed. Fun. BBVA. País Vasco, España. pp. 13-21.
- Sabater, S., J. Charles, A. Giorgi & A. Elosegí. 2009. El río como ecosistema. En: A. Elosegí & S. Sabater (Eds). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Ed. Fun. BBVA. País Vasco, España. pp. 23-37.
- Saborío, J. 2012. Estudio integral de la cuenca de los ríos Pirrís-Parrita-Candelaria, Cantón de Parrita y zona de Los Santos". Informe. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Periodo 2012. 206 p.
- Sagastizado, M. 2001. Impacto del uso de la tierra sobre la calidad del agua en la cuenca del río Talnique, El Salvador. Tesis de Maestría. Escuela de Posgraduados, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CRI. 167.
- Samways, M. & N. Steytler. 1996. Dragonfly (Odonata) distribution patterns in urban and forest landscapes, and recommendations for riparian management. *Biological Conservation* 78: 279-288.
- Samways, M. 2008. Dragonflies as focal organisms in contemporary conservation biology. *In*: A. Córdoba-Aguilar (Ed.). *Dragonflies & damselflies: model organisms for ecological and evolutionary research*. Ed. Oxford. New York, USA. pp. 97-108.
- Sánchez-Azofeifa, G.-A. 1996. Land use/cover change in Costa Rica. Tesis de Doctorado. University of New Hampshire, USA. 181 p.

- Schmidt, M., J. Martins & M. Araécio. 2011. Diversity of Odonata (Insecta) in lotic systems from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 55 (1): 88–94.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). 2011. Boletín estadístico agropecuario - N° 21. San José, Costa Rica. 183 p.
- Silva, L., F. Machado, D. Resende & U. Neiss. 2018. Immature Odonata community in streams: diversity, season variation and habitat preference in different levels of degradation. *North-Western Journal of Zoology* 14 (2): 232-236.
- Silvano, R., S. Udvardy, M. Ceroni & J. Farley. 2005. An ecological integrity assessment of a Brazilian Atlantic Forest watershed based on surveys of stream health and local farmers' perceptions: implications for management. *Ecological Economics* (53): 369-385.
- Small, G., M. Ardón, A. Jackman, J. Duff, F. Triska, A. Ramírez, M. Snyder & C. Pringle. 2012. Rainfall-driven amplification of seasonal acidification in poorly buffered tropical streams. *Ecosystems* 15: 974-985.
- Springer, M. 2010. Biomonitoring acuático. *Revista de Biología Tropical* 58 (Suppl. 4): 53-59.
- Stoks, R., F. Johansson & M. De Block. 2008. Life-history plasticity under time stress in damselfly larvae. *In*: A. Córdoba-Aguilar (Ed.). *Dragonflies & damselflies: model organisms for ecological and evolutionary research*. Ed. Oxford. New York, USA. pp. 39-50.
- Sweeney, B., T. Bott, J. Jackson, L. Kaplan, J. Newbold, L. Standley, W. Hessiont & R. Horwitz. 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101: 14132-14137.

- Torralba, A. 2009. Estado ecológico, comunidades de macroinvertebrados y de odonatos de la red fluvial de Aragón. Editorial Con. Eco. y Soc. de Aragón. Aragón, España. 226 p.
- Vásquez-Ramos, J., G. Guevara-Cardona & G. Reinoso-Flórez. 2014. Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricópteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 62 (Suppl. 2): 21-40.
- Villeda-Callejas, M., J. Lara-Vázquez & M. Chávez-Arteaga. 1999. Náyades de Odonatos y algunos parámetros físicos y químicos de su hábitat en arroyos del noroeste de Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 5(2): 107-111.
- Wantzen, K. & G. Rueda-Delgado. 2009. Técnicas de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. En: E. Domínguez & H. Fernández (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Ed. Uni. Nac. Tucumán, Argentina. pp. 17-45.
- Ward, J. 1992. *Aquatic insect ecology, part 1: biology and habitat*. Editorial Wiley. Nueva York, Estados Unidos. 438 p.
- Werner, F. 2012. *Assessment of the stream physical environment and study of its relation with water quality in the Guapi-Macacu watershed, Rio de Janeiro, Brazil*. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, and Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics in the specialization: Resources Management. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, and Cologne University of Applied Sciences, MEX and DEU. 99 p.
- Zamora, H. 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Revista Unicauca Ciencia* 4: 47-60.

Zamora, L. 1997. El nuevo enfoque del desarrollo tecnológico sostenible en la caficultura de Costa Rica. En: J. Echeverri, O. Mora & L. Zamora (Com). XVIII simposio latinoamericano de caficultura. Panel de caficultura sostenible. Ed. Editorama. San José, Costa Rica. pp. 93-98.

Anexo

Anexo 1

Fotografías de sitios de muestreo, en quebradas ubicadas en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica.



Figura 1. Quebrada 1 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.



Figura 2. Quebrada 2 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.



Figura 3. Quebrada 3 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.



Figura 4. Quebrada 4 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.



Figura 5. Quebrada 5 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.



Figura 6. Quebrada 6 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.



Figura 7. Quebrada 9 ubicada en Tarrazú, zona de Los Santos, San José, Costa Rica, 2015.

Anexo 2

Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas según Bjorkland *et al.* (2001).



Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas

Evalúe los parámetros incluidos a continuación de manera individual. Sume las puntuaciones individuales y divida por el número de parámetros evaluados. Ese valor corresponderá a la condición general de la quebrada según la siguiente clasificación.

| Puntuación | Clasificación |
|------------|---------------|
| 9-10 | Excelente |
| 7-8 | Bueno |
| 5-6 | Regular |
| 1-4 | Pobre |

Puntuación _____

Anotaciones Adicionales

Fecha _____

Nombre de la Quebrada _____

Propietario de la Finca _____

Número de Contacto del Propietario _____

Referencia: Bjorkland, R., Pringle, C. M., & Newton, B. 2001. A stream visual assessment protocol (SVAP) for riparian landowners. Environmental Monitoring and Assessment, 68(2), 99-125.

Imágenes: Mafía, M. 2013. Proyecto de Monitoreo de Ríos: Asociación Anai. www.anair.org

1. Alteración Hidrológica

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| No hay tomas de agua o descargas | Hay tomas de agua y/o descargas pero estas no parecen alterar el flujo natural. | Hay tomas de agua y/o descargas y parecen alterar el flujo natural. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

2. Evidencia de Nutrientes en Exceso

| | | |
|--|--|--|
| No hay algas filamentosas | Crecimiento moderado de algas filamentosas en áreas de aguas lentas y/o áreas expuestas al sol | Abundancia de algas filamentosas en todos los sustratos (piedras, troncos...) y/o hay plantas invadiendo el cauce de la quebrada |
|  |  |  |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

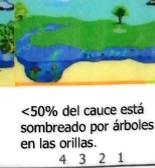
3. Apariencia del Agua

| | | |
|--|---|---|
| El agua es totalmente clara y se puede ver el fondo. No hay rastros de aceite u olores perceptibles. | El agua es moderadamente turbia pero se puede ver el fondo. No hay rastros de aceite u olores perceptibles. | El agua es bastante turbia y es difícil ver el fondo. Hay rastros de aceites u olores perceptibles. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

4. Estabilidad del Banco

| | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| Banco estable, cubierto de vegetación, no hay estructuras artificiales para prevenir derrumbes | Hay erosión moderada, en partes de la quebrada. No hay estructuras artificiales para prevenir derrumbes | Hay erosión por todo el banco, hay derrumbes, árboles caídos y/o se ha estabilizado el banco artificialmente. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

5. Cobertura de Dose

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| >75% del cauce está sombreado por árboles en las orillas. | 50-75% del cauce está sombreado por árboles en las orillas. | <50% del cauce está sombreado por árboles en las orillas. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

6. Substrato

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| Compuesto por una mezcla de bloques, rocas, piedras, grava y arena | Esta dominado por bloques, rocas, piedras, o grava | Está dominado por arena o fango. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

Bloques (más grandes que una pelota de fútbol), rocas (más pequeñas que una bola de fútbol pero mayores que una bola de tenis), piedras (más pequeñas que una bola de tenis pero mayores que la uña de un dedo pulgar), grava (más pequeñas que la uña del dedo pulgar).

7. Compactación del sustrato por sedimento

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| El sustrato está libre, no hay que hacer esfuerzo para moverlo; al moverlo el agua tarda de 0 a 5 segundos en aclararse | El sustrato está parcialmente compactado por sedimento; hay que hacer esfuerzo moderado para moverlo; al moverlo el agua tarda de 5 a 10 segundos en aclararse. | El sustrato está totalmente compactado, hay que hacer esfuerzo considerable para moverlo; al moverlo el agua tarda más de 10 segundos en aclararse. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

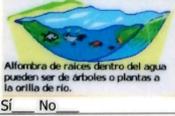
8. Pedazos de Madera y troncos de árboles

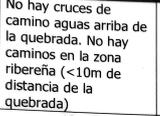
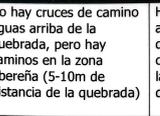
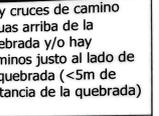
| | | |
|--|--|---|
| Hay abundancia de troncos a lo largo de toda la quebrada | Hay troncos pero no de manera abundante, hay pedazos de madera a lo largo de la quebrada | No hay troncos y hay escasez de pedazos de madera a lo largo de la quebrada |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

9. Franja de vegetación ribereña

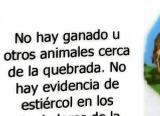
| | | |
|---|--|------------------------|
| La franja de vegetación ribereña es de igual o mayor ancho que el cauce | La franja de vegetación ribereña tiene aproximadamente la mitad del ancho que el cauce | No hay franja ribereña |
| Banco A | 10 9 | 8 7 6 5 |
| Banco B | 10 9 | 8 7 6 5 |
| | | 4 3 2 1 |
| | | 4 3 2 1 |

| 10. Condición de la vegetación ribereña | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  | |
| La vegetación ribereña es diversa, compuesta de árboles grandes, arbustos y sotobosque | La vegetación ribereña está compuesta por una mezcla de algunos árboles grandes, en combinación con invasoras y/o cultivos agrícolas | La vegetación ribereña está compuesta por invasoras y/o cultivos agrícolas. | |
| Banco A 10...9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 | |
| Banco B 10...9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 | |

| 11. Disponibilidad de Habitat | | | |
|---|---|--|--|
|  |  |  | |
| Troncos y ramas caídos dentro del agua de diferentes tipos y tamaños | Plantas creciendo dentro del agua, buchones, lirios, zacate con hojas en el agua | RÁPIDOS PEQUEÑOS con paquetes de hojas | |
| Sí ___ No ___ | Sí ___ No ___ | Sí ___ No ___ | |
|  |  | Otros: Cascada Sí ___ No ___ Rápidos Sí ___ No ___ Remansos Sí ___ No ___ | |
| Alfonbra de raíces dentro del agua pueden ser de árboles o plantas a la orilla del río. | Hojas en el fondo en diferentes estados de descomposición | | |
| Sí ___ No ___ | Sí ___ No ___ | | |
| 5 o más tipos de habitat presente | 3-4 tipos de habitat presentes | 1 o 2 tipos de habitat presentes | |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 | |

| 12. Cruces de Camino | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| No hay cruces de camino aguas arriba de la quebrada. No hay caminos en la zona ribereña (<10m de distancia de la quebrada) | No hay cruces de camino aguas arriba de la quebrada, pero hay caminos en la zona ribereña (5-10m de distancia de la quebrada) | Hay cruces de camino aguas arriba de la quebrada y/o hay caminos justo al lado de la quebrada (<5m de distancia de la quebrada) |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

| 13. Barreras al Movimiento | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| No hay barreras al movimiento de peces, o las barreras son naturales (cascadas por ejemplo). | Hay barreras que obstruyen el paso durante la época seca (puentes, alcantarillas). | Hay barreras permanentes como represas o desviaciones de agua. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |

| 14. Impacto de Ganado | | |
|---|--|--|
|  |  | |
| No hay ganado u otros animales cerca de la quebrada. No hay evidencia de estiércol en los alrededores de la quebrada. | Hay ganado u otros animales (cerdos, caballos, etc.) en la zona ribereña de la quebrada. | Hay ganado dentro del río y/o hay presencia de estiércol alrededor de la quebrada. |
| 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1 |