



EMPLEO DE ENTOMOFAUNA DULCEACUÍCOLA DE ODNATOS COMO BIOINDICADOR ECOLÓGICO DE CALIDAD DE LAS AGUAS

FRESHWATER ODNATA ENTOMOFAUNA AS BIOMARKER OF ECOLOGICAL WATER QUALITY

Simón, F.A.^{1,2}, Carlos Naranjo ³, L. Vázquez⁴ y G. Dierksmeier⁴

¹Facultades de Ciencias Agrícolas Universidad de Oriente Santiago de Cuba, ²Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres, ³Facultades de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente Santiago de Cuba; ⁴Instituto Nacional de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana, Cuba

Enviado (17.09.2015)

Aceptado (30.11.2015)

RESUMEN

La cantidad, regularidad y calidad de las aguas, determinan su uso en las diferentes actividades humanas. La entomofauna dulceacuícola es indicadora de los cambios que ocurren de hábitat en cuanto a composición y densidad de sus poblaciones ante el efecto de la contaminación; sin embargo, hay pocas referencias de aplicación, donde se relacionen aspectos bioecológicos con la calidad del agua. Con esta finalidad se desarrolló la investigación a partir del año 1995 con el grupo taxonómico de los Odonatos, relativamente abundante en ecosistemas montañosos de Cuba. Se realizaron estudios bioecológicos y ecotoxicológicos en mantos acuíferos de diferentes subcuencas hidrográficas del macizo de la Sierra Maestra, En cada una se identificaron las fuentes de contaminación representativa del tipo de actividad agropecuaria que tiene lugar y se correlacionaron los índices bioecológicos establecidos, según los diferentes grados o categorías de contaminación, acorde con la composición genérica de los odonatos, utilizando diferentes parámetros indicadores de la calidad de las aguas tales como: DO (Oxígeno disuelto), DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), Alcalinidad, Dureza (Concentración de calcio y magnesio) y Salinidad (Concentración iónica de cloruros y sulfatos y catiónica de sodio y potasio) siguiendo el método de Winkler establecido para el control de calidad según la norma NC-423/95. Se determinó el comportamiento de los Odonatos en cuanto a composición genérica en cada fuente de contaminación, lográndose establecer el riesgo inminente o potencial que representa.

Palabras clave: *biota dulceacuícola, entomofauna, odonatos, ecotoxicológicos*

ABSTRACT

The amount, regularity and quality of water, determine its use in different human activities. The freshwater insect fauna is indicative of changes occurring habitat in composition and density of their populations against the effects of pollution; however, there are few references of application, where bio-ecological aspects relating to water quality. For this purpose, the research was conducted from 1995 using the taxonomic group of Odonata, relatively abundant in mountain ecosystems in Cuba. Bio-ecological and ecotoxicological studies were conducted in aquifers of different sub-basins of the Sierra Maestra mountain system. In each source of contamination where the agricultural activity taking place were identified bio-ecological index, establishing for different degrees or correlated categories of pollution in accordance with the generic composition of odonates. It was complemented with different parameters indicators of water quality such as: DO (dissolved oxygen), BOD (Biochemical Oxygen Demand), alkalinity, hardness (calcium and magnesium concentration) and salinity (ionic concentration and cationic chlorides and sulfates of sodium and potassium) by the method of Winkler established for quality control according to the NC-423/95 standard. Odonata behavior was determined in terms of gender composition in each source of pollution was established allowing the potential risk or is imminent.

Keywords: *freshwater biota, insect fauna, Odonata, ecotoxicological*

INTRODUCCIÓN

La cantidad, regularidad y sobre todo la calidad de las aguas, determinan su uso en las diferentes actividades humanas; por tanto, conocer su estado antes de utilizarla, es un asunto clave en el manejo de estas. Para evaluar la calidad del agua, se analiza un gran número de indicadores físico-químicos y biológicos, a través de métodos estandarizados que constituyen normas internacionales de control de calidad¹; métodos altamente especializados, costosos, efectivos, pero poco prácticos en términos económicos².

En este sentido, la entomofauna dulceacuícola es indicadora de los cambios que ocurren de hábitat ^{2,3,4}, variando en cuanto a composición y densidad de sus poblaciones ante el efecto de la contaminación, sin distinción del agente causal. La idea de usarlos como bioindicadores de calidad de las aguas data de tiempos ancestrales en Europa y Norte América; sin embargo, no se han concretado los estudios que permitan proveer las bases biológicas y ecológicas del uso de la entomofauna dulceacuícola en la evaluación de la calidad de las aguas, de forma tal, que sea válido usar información sobre distribución, abundancia e índice biótico, para determinar la calidad de las aguas y su nivel de contaminación de éstas⁴.

Sobre el tema, hay escasos registros de aplicación donde se relacionen aspectos bioecológicos con la calidad del agua, entre ellos, destacan los trabajos de Hilsenhoff ⁴, considerado pionero en estas investigaciones, a los que le siguen noveles investigadores del continente sudamericano como Roldán, G.; Gaviria, S.; Rodríguez, Z.; Builes, J.; Trujillo, C.M. y Zúñiga de Cardoso, M.C, reseñados por Simón⁵. De estos reportes, se dispone de la contribución a los estudios limnológicos de ecosistemas neotropicales de diferentes regiones de Centro y Sudamérica, y de la entomofauna dulceacuícola, particularmente de los órdenes *Ephemeroptera* y *Trichoptera*, muy relacionada con la calidad de las aguas, y la contaminación ambiental en general y en específico de la industrial y doméstica.

Por lo que se expresa anteriormente, no se trata de suplantar técnicas analíticas, muchas de ellas de alta resolución, por métodos que responden a leyes propias de los organismos vivos, no exentas de cierto grado de incertidumbre, que requieren de una determinada especialización en materia entomológica, aún cuando a nivel de género y hasta de familia es suficiente, según entomólogos especializados en estos grupos taxonómicos de los órdenes *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Odonata*, los cuales son del criterio, que trabajar a nivel de género, es suficiente para determinar el grado de contaminación de las aguas^{4,6}, a través de métodos de cálculos establecidos para estos fines, atendido a la composición genérica de la entomofauna dulceacuícola de referencia. El objetivo del presente trabajo es utilizar la entomofauna dulceacuícola de los odonatos como bioindicador de contaminación ambiental de las aguas en agroecosistemas cafetaleros y forestales de montaña, disponiendo de un método práctico que permita valorar las reservas de acuíferos como fuentes proveedoras de las cuencas hidrográficas circundantes.

METODOLOGÍA

Con vista a estudiar y evaluar la entomofauna dulceacuícola de los odonatos como método práctico bioindicador de ecotoxicidad, se inició esta investigación a partir del año 1995

con este grupo taxonómico, relativamente abundante en ecosistemas montañosos de Cuba, de modo que pudiera constituir un método o procedimiento bioecotoxicológico que permita validar la calidad de las aguas y el grado de contaminación por agroquímicos, agrotóxicos y el vertimiento de residuales agroindustriales en estos agroecosistemas cafetaleros y forestales, frágiles y complejos de la montaña. En el macizo agroforestal cafetalero de la Sierra Maestra, pertenecientes los municipios de Guamá, Palma Soriano, Contramaestre y III Frente, de la provincia Santiago de Cuba, y de Guisa y Buey Arriba de la provincia Granma, se escogieron mantos acuíferos de diferentes subcuencas hidrográficas coincidentes con áreas aledañas que bordean a cafetales identificando las fuentes de contaminación representativa del tipo de actividad agropecuaria que tiene lugar y los tratamientos a que son sometidas las plantaciones cafetaleras.

En cada sitio, se seleccionaron tramos de corrientes de cinco metros de largo y a todo lo ancho del manto acuífero, de orilla a orilla donde se procedió a realizar los muestreos de forma manual con el auxilio de jamos y redes metálicas en forma de colador enmangado, de modo que permitiera raspar el fondo en lodazales, aguas estancadas y sedimentos. Se escarbó debajo de las piedras, colectándose tantas náyades como fue posible, las cuales se depositaron en frascos con alcohol debidamente rotulados para su posterior estudio taxonómico con el auxilio de las claves dicotómicas^{3,7}, y la identificación de especímenes de los estados inmaduros.

En cada reservorio o manto acuífero objeto de monitoreo, se tomaron muestras de agua a las que se determinaron diferentes parámetros indicadores de la calidad de las aguas tales como: DO (Oxígeno disuelto), DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), Alcalinidad, Dureza (Concentración de calcio y magnesio) y Salinidad (Concentración iónica de cloruros y sulfatos y catiónica de sodio y potasio). La toma de muestra y el procesamiento analítico se realizó siguiendo el método de Winkler¹, establecido de control de calidad según la norma NC-423/95⁸.

En igualdad de condiciones, los contaminantes agrotóxicos y agroindustriales de interés (plaguicidas y vertimientos de las despulpadoras en forma de licor fermentado del despulpe compuesto por ácido galacturónico), en un rango de concentraciones de 0.5 – 5.0 mgkg⁻¹ se incorporaron a pequeños reservorios acuíferos, contaminándose de la forma más homogénea posible, manteniendo en todos los casos un testigo sin contaminar. Con los valores de ecotoxicidad obtenidos para los agrotóxico, ensayados siguiendo como procedimiento de cálculo el método Probit⁹, utilizando un sistema para microprocesador computarizado, que permitió establecer los niveles de depósitos en cada caso y a su vez el comportamiento de la composición genérica de los odonatos en cada variante de ensayo, y establecer de acuerdo a estos resultados el riesgo actual o potencial que representan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evidentemente, la presencia de agentes contaminantes repercutió sobre la biota dulceacuícola, y muy en particularmente sobre la entomofauna del orden Odonata, en la cuenca hidrográfica del río Sevilla en Guamá, Santiago de Cuba, demostrándose que constituyó un excelente indicador de contaminación tal como se refleja en los resultados mostrados en la tabla I, guardando relación con la biodiversidad y composición genérica de los insectos, y con el detrimento de sus poblaciones; comportándose su distribución en

las cuencas acorde a las características de cada género en correspondencia a determinadas exigencias de hábitat y condiciones ecológicas particulares, tal como se refleja en la tabla II, que ha permitido utilizarla como complemento en las investigaciones encaminadas a la protección de las cuencas hidrográficas por contaminación de agrotóxicos, y valorar la eficiencia del sistema de protección concebido. Desde el punto de vista propio, se consideran los odonatos más propicios para estas investigaciones, al menos en Cuba, por su abundancia relativa en los ecosistemas acuáticos de la Sierra Maestra, su fácil detección y colecta por la poca movilidad de sus náyades que se mantienen casi estacionarias, que a la vez permiten su identificación taxonómica, al menos del género sin necesidad de llegar a la fase adulta y atendido a los hábitos diversos, que incluyen a zonas pantanosas, lodazales, ríos y arroyos de aguas limpias, aguas cloacales y aguas salinas de los esteros costeros⁶.

Tabla I. Impacto ecológico a la cuenca hidrográfica del río Sevilla en Guamá. Monitoreo de diferentes zonas de la cuenca contaminadas y protegidas.

Composición poblacional relativa (%) de los géneros registrados del orden Odonata

GÉNEROS	Zona de referencia		Zonas contaminadas por		Zona protegida FILTRO ECOLÓGICO
	PREVIO	TESTIGO	PLAGUICIDAS	RESIDUALES	
1 SCAPANEA	3e	6,8d	6c	3d	5c
2 ERYTHRODIPLAX	3e	7,4d	8c	7c	3c
3 GYNACANTHA	2,1ef	2,2ef	1d	9c	6c
4 HYPOLESTES	11c	10cd	7c	5d	10b
5 LESTES	5e	13c	17b	7c	13b
6 MICRATHYNIA	12cd	11c	8c	11c	13b
7 ORTHEMIS	0,9f	2.6e	0d	10c	1c
8 PANTALA	24a	14c	14b	23a	20a
9 PERITHEMIS	13c	13c	23a	15b	11b
10 ENALLAGMA	26a	20b	16b	10c	19a

Tabla II. Caracterización de la entomofauna del orden Odonata acorde al monitoreo de la Cuenca Hidrográfica del Río Sevilla Guamá

Géneros	Caracterización Ecológica			Exigencias Ecológicas de los Géneros Registrados en la Cuenca Hidrográfica				Grupos Ecológicos
	Abundancia	Hábitat	Altitud	Iluminación	Temperatura	Oxígeno	Salinidad	
ANAX	4	4	0	0	0	0	1	3
CORYPHAESCHNA	5	1	0	5	5	5	5	5
SCAPANEA	5	0	0	4	3	0	5	4
ERYTHRODIPLAX	3	4	0	0	3	1	2	3
GYNACANTHA	5	4	0	1	2	1	1	3
HYPOLESTES	5	1	4	1	1	5	0	1
LESTES	5	1	4	1	1	5	0	1
MICRATHYRA	5	3	4	1	2	3	0	2
ORTHEMIS	5	1	4	1	2	2	0	2
PANTALA	5	4	0	0	0	0	1	3
PERITHEMIS	5	3	0	1	2	5	2	2
ENALLAGMA	5	1	5	1	1	5	0	1
TRAMEA	2	5	1	5	3	3	4	4

Legenda: Diferentes categorías de los Parámetros evaluados: (0) indefinido; (1) Nivel más bajo; (2-3) Nivel medio; (4) Nivel Superior y (5) Exigente.

Particularmente en el caso de los plaguicidas, su utilidad se refleja en el hábito de sus géneros y especies en correspondencia al suborden a que pertenecen. Las especies cavadoras pertenecientes al suborden Anisóptera (Tabla III), que habitan en lodazales y sedimentos y tienen el hábito de enterrarse, reflejan con mayor sensibilidad la contaminación por plaguicidas, cuya tendencia es particularmente la sedimentación en las orillas y fondo de los ríos^{10,11}.

Tabla III. Características de los subórdenes de los odonatos.

ANISOPTEROS	ZIGOPTEROS
Tamaño mediano a muy grande (4 a 8 cm)	Tamaño pequeño a mediano (3- 6 cm)
Cuerpo relativamente grueso y robusto	Cuerpo muy fino, especialmente el abdomen
Cabeza generalmente redonda, ojos contiguos dorsalmente o al menos próximos entre sí.	Cabeza más ancha que larga, ojos separados y en los extremos de la cabeza.
Ambos pares de alas diferentes. Alas posteriores con la base más ancha que las anteriores. En reposo se mantienen extendidas a los lados del cuerpo.	Ambos pares de alas angostas y similares en forma y venación. En reposo, generalmente se cierran vertical sobre el cuerpo.
Muy pocas hembras poseen oviscapto.	Todas las hembras poseen oviscapto.
Vuelan mucho y rápido.	Vuelan poco y despacio.
Las náyades carecen de branquias externas teniendo en sus paredes internas abundantes tráqueas.	Las náyades están provistas de tres branquias externas de aspecto foliáceo colocadas en el extremo del abdomen.
Son poco demandantes de oxígeno.	Demandantes de oxígeno.

En la tabla I, se evidencia la desaparición del género *Orthemis* y un detrimento significativo de las poblaciones de los géneros *Pantala*, *Perithemis* y *Gynacantha*, poco exigentes de oxígeno, en relación con el detrimento de *Enallagma*, *Lestes* e *Hypolestes*, todos demandantes de oxígeno por excelencia según los estudios de Alayo³, que concuerdan con las observaciones más recientes al respecto⁶.

La tabla IV recoge la composición y distribución de los principales géneros de los odonatos agrupados en los dos subórdenes: Anisóptera y Zigóptera, diferenciándose, tal como se describe en la tabla III, porque las náyades de este último están provistas de tres láminas branquiales de aspecto foliáceo colocadas en el extremo del abdomen, aspecto morfológico indispensable para su identificación taxonómica, cualidad que le confiere gran exigencia de oxígeno, que los difiere de los Anisópteros que carecen de branquias externas, teniendo en cambio en sus paredes internas abundantes tráqueas.

Los resultados analíticos de control de la calidad de las aguas registrados en la tabla V, permiten establecer los niveles o grados de contaminación analítica en cada sitio. Estos valores fueron correlacionados con la composición genérica de los odonatos registrados en cada sitio (Tabla IV), lo que permitió agruparlos en los cinco grupos ecológicos que se describen en la tabla VI, acompañados de los grupos taxonómicos a que pertenecen según las claves consultadas para este orden y su relación bioecológica con la calidad del agua. Algunos géneros como *Scapanea*, por su comportamiento indefinido no conformaron estos grupos.

Tabla IV. Distribución genérica de los Odonatos acorde con el monitoreo de las diferentes zonas de la cuenca del Río Sevilla en Guama, Santiago de Cuba.

Zonas	Subcuencas	Composición poblacional genérica (%)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	LA FORESTAL	0	0	0,3	15	21	1,6	0,7	25,4	3	31
2	CUEVITA 2	5	6	2	12	11	12	1	12	11	28
3	CUEVITA 1	6,8	7,4	2,2	10	13	11	2,6	14	13	20
4	EL BRUJO	0	3	4	7	17	8	0	27	23	10
5	LOS CUBANOS	1	2	3	14	15	0,3	0,7	8	26	30
6	SAN JOSE	4	7	8	4	5	16	9	28	9	10
7	MAGDALENA	3,6	6	21	1	0,5	1,2	19	34	1,3	2
8	LOS MORONES	3	3	2,1	11	5	12	0,9	24	13	26
9	EL RAJON	3	2	3	8	13	11	0	23	21	16
10	ORO ARRIBA	1	3	0	21	22	2	1	18	2	30
11	ORO ABAJO	4	9	22	2	0,1	1	20	33	2	6,9
12	EL AJI	1	2	3	13	19	0,3	0,7	8	23	30
13	A. LLANO	5	5	22	0	0	2	26	40	0	0
14	EL MADRUGON	5	3	6	10	13	13	1	20	11	19
15	ESTERO	32	9	6	0	1	0	0	4	6	0

Los resultados de los análisis biométricos recogidos en la tabla VII, demuestran que existe una alta correlación entre la composición genérica de odonatos con la calidad analítica de las aguas y por ende con la contaminación de estas, con un comportamiento distintivo de los diez géneros registrados en relación con las zonas monitoreadas de la cuenca del río Sevilla.

Tabla V. Resultados de los principales parámetros fisicoquímicos examinados de las aguas. Diferentes zonas monitoreadas de las subcuencas del Río Sevilla, Guama, Santiago de Cuba.

ZONA	SUBCUENCA	POLUCIÓN ANALÍTICA	T °C	pH	O.D ppm	D.B.O ppm	DUREZA Ppm	SALINIDAD ppm
1	LA FORESTAL	0	18	7,0	8,0	0	0	100
2	CUEVITA 2	1	18	7,0	8,0	10	0	100
3	CUEVITA 1	1	17,5	7,0	7,0	10	1	150
4	EL BRUJO	3	23	6,9	3,5	60	230	160
5	LOS CUBANOS	1	22	7,0	5,2	5	6	200
6	SAN JOSE	4	24	6,2	2,0	120	240	300
7	LA MAGDALENA	4	22	6,8	2,2	140	200	150
8	LOS MORONES	2	22	6,9	4,0	80	220	200
9	EL RAJON	3	23	7,1	3,6	63	310	190
10	ORO ARRIBA	0	18	7,0	8,0	0	0	100
11	ORO ABAJO	2	20	6,8	4,2	24	224	150
12	EL AJI	1	19	6,9	6,9	12	2	180
13	A.LLANO	2	20	7,1	4,4	40	200	120
14	EL MADRUGON	5	28	6,6	0	200	400	200
15	ESTERO	5	30	6,5	3,1	100	300	600

Tabla VI. Grupos ecológicos pertenecientes al orden Odonata relacionados con la calidad del agua y la contaminación ambiental.

GRUPOS ECOLÓGICOS	GRUPOS TAXONÓMICOS	RELACIÓN BIOECOLÓGICA CON LA CALIDAD DEL AGUA
0	Suborden: Anisoptera <i>Familia:</i> Libellulidae <i>Géneros:</i> <i>Erythrodiplax; Micrathyria Scapane</i>	Comportamiento indeterminado Hábitat diverso de los géneros
1	Suborden: Zygoptera <i>Familia:</i> Lestidae <i>Género:</i> <i>Lestes; Hypolestes; Enallagma</i>	Altos demandantes de oxígeno Hábitat de aguas lólicas, sin Contaminación orgánica.
2	Suborden: Anisoptera <i>Familia:</i> Libellulidae <i>Género:</i> <i>Orthemis; Perithemis</i>	Agua con ligera contaminación de tipo orgánica.
3	Suborden: Anisoptera <i>Familia:</i> Libellulidae <i>Género:</i> <i>Pantala</i> Suborden: Anisoptera <i>Familia:</i> Aeschnidae <i>Género:</i> <i>Anax; Gynacantha</i>	Agua contaminada
4	Suborden: Anisoptera <i>Familia:</i> Libellulidae <i>Género:</i> <i>Tramea</i>	Agua cloacal
5	Suborden: Anisoptera <i>Familia:</i> Aeschnidae <i>Género:</i> <i>Coryphaeschna</i>	Agua con alta salinidad

Tabla VII. Relación ecológica de la biota dulceacuícola y la contaminación.

	Composición genérica de los odonatos										Polución Analítica
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1,000										
2	0,660	1,000									
3	0,102	0,146	1,000								
4	-0,132	-0,302	-0,902	1,000							
5	-0,267	-0,304	-0,833	0,790	1,000						
6	0,324	0,245	-0,655	0,374	0,354	1,000					
7	0,195	0,256	0,977	-0,902	-0,875	-0,611	1,000				
8	-0,002	0,073	0,869	-0,937	-0,801	-0,356	0,854	1,000			
9	-0,504	-0,438	-0,857	0,822	0,906	0,265	-0,877	-0,792	1,000		
10	-0,087	-0,285	-0,866	0,981	0,668	0,373	-0,846	-0,912	0,750	1,000	
P	-0,071	0,118	0,881	-0,961	-0,785	-0,431	0,882	0,966	0,733	0,933	1,000

De los diez géneros, tres a saber: (1) *Scapanea*; (2) *Erithrodiplax* y (6) *Micrathyria* no arrojaron correlación con la polución; sin embargo, los géneros (3) *Gynacantha*; (7) *Orthemis*; (8) *Pantala* y (9) *Perithemis* mostraron alta correlación directa (+) con la polución, mientras los géneros restantes (4) *Hypolestes*; (5) *Lestes* y (10) *Enallagma*, arrojaron alta correlación inversa (-) con la contaminación. Entre ambos grupos, se manifestó una alta correlación genérica.

El análisis de regresión permitió establecer la ecuación de regresión múltiple que responde a:

$$C (\text{Contaminación}) = -0,14 (g_3) - 0,23 (g_4) - 0,024 (g_5) + 0,04 (g_7) + 0,07 (g_8) + 0,07 (g_9) + 0,03 (g_{10}) + 1,127$$

Esta ecuación establece la relación biótica genérica de los odonatos y la contaminación, utilizada al efecto en los cálculos con la denominación de Grado de Contaminación Bioecológica, que junto con la Contaminación analítica y el índice o Intensidad de Contaminación (%) obtenido a través de la fórmula de Townsend-Heuberger basado en el método de Hilsenhoff⁴ modificado, aparecen registrados en la tabla VIII, en la que aparece otra forma de cálculo o expresión de la contaminación a la que se denominó Factor Biótico, definido por la relación genérica de las especies demandantes (Zigópteros) y los no demandantes (Anisópteros).

Este factor tiene un extraordinario valor práctico, pues atendido a las reflexiones realizadas sobre estos métodos de bioensayo recogidos en la revisión bibliográfica, para que tenga aplicación práctica, deben ser asequibles y de fácil manejo y comprensión por personal poco especializado; sin embargo, con la simple determinación de elementos básicos de hábitat y rudimentos taxonómicos de los subórdenes, tal como se muestra en la tabla V, es suficiente para decidir a cuál de los dos grupos pertenecen y poder calcular este factor.

El rango de valores que toma este factor –desde 0 hasta valores algo superior a 10-, muestran acorde a los análisis de correlación y regresión registrados, que para valores del factor superiores a “5”, las aguas están libres de contaminación, en cambio en valores por debajo de “2”, hay contaminación orgánica, siendo más severa en la medida que se aproxima a “0”, relacionada con la contaminación por demanda de oxígeno disuelto (DO), o por demanda biológica de oxígeno (DBO); en cambio, para el caso particular de contaminación causada por plaguicidas, no sólo se afectó la biota demandante de oxígeno, sino la no demandante por las razones anteriormente explicadas, estableciéndose relaciones bioecológicas que conllevan a valores del factor próximos a la unidad (entre 1 y 2), resultando en principio una forma de alerta. El análisis de correlación y regresión demuestra categóricamente que las diferentes formas de cálculo o expresión de la polución están altamente correlacionadas con la contaminación analítica.

Tabla VIII. Categorización de la contaminación de las subcuencas.

ZONA	SUBCUENCA	GRADO DE POLUCION ANALITICA	INDICE DE POLUCION (%) CALCULADO	FACTOR BIOTICO ESTIMADO	RELACION BIOTICA ESTABLECIDA
1	LA FORESTAL	0	11,1	10,1	0,2
2	CUEVITA 2	1	20,2	8,2	0,36
3	CUEVITA 1	1	40,9	3,0	0,85
4	EL BRUJO	3	58,0	1,7	2,42
5	LOS CUBANOS	1	47,8	6,9	0,5
6	SAN JOSE	4	51,0	0,7	2,15
7	LA MAGDALENA	4	69,7	0,06	3,15
8	LOS MORONES	2	49,2	2,04	1,65
9	EL RAJON	3	52,3	2,2	2,17
10	ORO ARRIBA	0	10,1	12,1	0,18
11	ORO ABAJO	1	18,0	6,9	1,05
12	EL AJI	2	41,2	3,1	2,44
13	ARROLLO LLANO	3	79,3	0,9	2,5
14	EL MADRUGON	5	87,0	0	4,4

Tabla IX. Análisis de correlación y regresión de los diferentes indicadores de contaminación ambiental y calidad de las aguas.

	Polución Analítica	Índice de Polución calculado	Factor biótico calculado	Relación biótica establecida
Analítica	1,00000			
Índice de polución	0,87129	1,00000	1,00000	
Factor biótico	0,86609	-0,88392	-0,64229	
Relación biótica	0,73089	0,81245	-0,64229	1.00000

Toda la zona del macizo cafetalero que abarcan las más de 2 800 ha de café que vierten en los diferentes sitios monitoreados de la cuenca del río Sevilla, no arrojaron contaminación; sin embargo, en los sitios de San José (6) y La Magdalena (7) (Tabla VIII) que tienen despulpadoras de café y vierten sus residuos al río, se manifestó en ambos casos una alta contaminación (grado 4), a partir de esos puntos y hacia abajo siguiendo la trayectoria del río, a pesar de disminuir el grado de contaminación, se mantuvo hasta su desembocadura, haciéndose de nuevo cada vez más intensa en el llano, próximo al poblado de El Madrugón (14), donde alcanzó la máxima contaminación (grado 5), por vertimiento fundamentalmente de albañales (aguas albañales).

A pesar de la situación de contaminación de la cuenca reflejada en la tabla III, el monitoreo realizado al estero costero (Tabla X), no arrojó efecto significativo en la entomofauna dulceacuícola del orden estudiado, evidenciando que la misma manifiesta connotación localizada; de ahí, la importancia de propiciar en cada zona aledaña a una subcuenca donde se apliquen plaguicidas, las formas de contención a través de los filtros bioecológicos de referencia como respuesta a este problema, demostrándose la capacidad biodegradativa acelerada de estos biorreactores, que constituyen verdaderos filtros o tamices ecotoxicológicos, que evitan de este modo las contaminaciones por residuos de plaguicidas de cuencas hidrográficas y zonas bajas a consecuencia de los arrastres de los depósitos de plaguicidas aplicados en zonas montañosas.

Tabla X: Monitoreo de la entomofauna dulceacuícola del género Odonata en el Estero costero del río Sevilla en Guamá.

GÉNEROS	MONITOREO DEL ESTERO COSTERO		
	PREVIO	REFERENCIA	POSTRATADO
ANAX	4d	4d	6c
CORYPHAESCHNA	20bc	25b	21b
ENALLAGMA	31ab	32a	34a
ERYTHRODIPLAX	13c	9d	12c
GYNACANTHA	2de	6c	1de
LESTES	1e	1e	3de
ORTHEMIS	0,1f	0g	0g
PANTALA	4d	4d	2de
PERITHEMIS	12,9c	6d	10c
TRAMEA	12c	13c	11c

CONCLUSIONES

Se manifestó una alta correlación genérica en cuanto a la calidad como bioindicador de la contaminación de las aguas, entre ambos grupos de los Odonatos. De los diez géneros estudiados, tres, a saber: *Scapanea*, *Erithrodiplax* y *Micrathyria* no arrojaron correlación

con la polución; sin embargo, los géneros *Gynacantha*, *Orthemis*, *Pantala* y *Perithemis* mostraron alta correlación directa con la polución, mientras los géneros restantes *Hypolestes*, *Lestes* y *Enallagma*, arrojaron alta correlación inversa con la contaminación.

Se recomiendan los géneros *Orthemis*, *Hypolestes*, *Lestes* para su uso como bioindicadores de la calidad del agua en ecosistemas de montaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Stewart, Mc. and H. E. Wilkinson, ed. 1993. Standard Methods for the Examination of Water, Sewage, and Industrial Wastes of the American Public Health Association, 556 p.
- [2] Esquivel, C. 2013. Las libélulas indicadoras de contaminación en Costa Rica. V Simposio de Desarrollo Sostenible. Fac. de Ciencias Naturales. 52 pp.
- [3] Alayo, P. D.. 1974. Guía Elemental de las Aguas Dulces de Cuba. Torreira. Sere No. 37, 96 p.
- [4] Hilsenhoff, W. L. 1982. Using a biotic index to evaluate water quality in streams. Tech. Bull. 132: 1-22.
- [5] Simón, F. A. 2004. Protección a las Cuencas Hidrográficas de la contaminación por Agrotóxicos. 10 p. en I Simposio Internacional de Ciencias Biológicas "Charles T. Ramsden" Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- [6] Naranjo, C. 1998. Estudio de la entomofauna dulce acuícola del Orden Odonata de Cuba. Cuba: Universidad de Oriente, 211 pp.
- [7] May, M. 2005. Actualización de claves para identificar los odonatos (libélulas). Ed. Universitaria-Smithsonian Institute Panamá, 18 p.
- [8] NC-423:1995. 2008. Calidad de Agua potable. Métodos de Análisis, 1995. 36 pp.
- [9] Simón, F. A. Impacto de Agroquímicos, Agrotóxicos y del Vertimiento de Residuos Agroindustriales en Agroecosistemas de Montaña en Cuba. 10 p. en 19 Conferencia de Química Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- [10] Zambrano, F. 1997. Sistemas modulares de tratamientos anaerobios. En: Curso Taller sobre Tasas Retributivas por la Utilización Directa e Indirecta del Agua como Receptor de Vertimientos. Cenicafé 48(10): 32-36,
- [11] Simón, F. A. 2009. Impacto Ambiental de Agroquímicos, Agrotóxicos y del Vertimiento de Residuos Agroindustriales. Curso Pre-Evento 372 p. en II Conferencia Internacional de Toxicología/ I Taller de Ecotoxicología Agraria, Centro de Toxicología y Biomedicina, Universidad de Ciencias Médicas, Santiago de Cuba, 17-20 noviembre.
- [12] Rizo-Patrón, F., Santo Domingo, A., & Trama, F. A. 2011. Evaluación de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en arrozceras bajo riego en el noreste de Argentina. Conservación de los recursos acuáticos y la biodiversidad en arrozceras del noreste de Argentina, 18.