

VARIACIONES EN LA DIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD BENTONICA DEL SEDIMENTO. UN INDICADOR BIOLÓGICO DEL ESTADO DE CONTAMINACION DE LOS RÍOS DE LA SUBREGION DE HEREDIA, COSTA RICA.

Claudia Charpentier

Farid A. Tabash

Escuela de Ciencias Biológicas

Universidad Nacional

Heredia, Costa Rica

RESUMEN

Entre setiembre de 1985 y febrero de 1987 fueron muestreados ocho ríos ubicados en la región central de la provincia de Heredia. En total se analizaron 26 estaciones con intervalos de muestreo que fluctuaron entre 60 y 90 días. En cada estación se colectaron muestras de sedimento con el fin de cuantificar el zoobentos presente.

Los datos obtenidos fueron analizados con base en la aplicación del Índice de Comparación Secuencial (ICS) de Cairns y Dickson (1971), los cuales a su vez fueron sometidos a un análisis multivariable con el fin de determinar cambios en la comunidad en el tiempo y en el espacio para cada río y entre ellos.

Se determinó que los ríos Segundo, Tibás y Porrosatí presentaron altos valores del ICS, que aunados a los parámetros físico-químicos y bacteriológicos permitan catalogarlos como recuperables a corto plazo. Los ríos Bermúdez y Quebrada Seca presentaron valores bajos para el ICS, con signos de poca recuperación durante la estación lluviosa, lo que permite concluir que se encuentran muy contaminados y que su recuperación sería muy lenta. Los ríos Burío, Pirro y Porrosatí fueron

considerados como altamente contaminados y las posibilidades de recuperación son a largo plazo.

ABSTRACT

Between september 1985 and february 1987, 8 rivers located in the Central region of the Province of Heredia were sampled. A total of 26 stations were located for the study, with sampling intervals of 60 to 90 days. In each station three sediment samples were taken to determine the benthic community.

The data obtained were analyzed using the Sequential Comparison Index (SCI) of Cairns and Dickson (1971), and the resulting data were further analyzed with a multivariable analysis to determine changes in the community in time and space for all the rivers studied and for each one individually.

The rivers Segundo, Tibás and Porrosatí showed high SCI values, and these results in combination with the microbiological and physicochemical data, let us list them as short-term recuperation lotic systems. Rivers Bermúdez and Quebrada Seca showed low SCI values, with very little recuperation signs during the rainy season, and

therefore they were classified as polluted and with a much slower recuperation capacity. Rivers Burío, Pirro and Porrosatí were catalogued as heavily polluted and the recuperation possibilities are in a very long term.

INTRODUCCION

Las perturbaciones ambientales, como la contaminación, inducen a cambios en la estructura y función de los sistemas biológicos (Ledger, 1964); debido a ello se recurre a su estudio en todos los niveles de organización, desde el molecular hasta el de las comunidades bentónicas (Whitton, 1975).

Entre las primeras investigaciones realizadas para detectar el grado de contaminación de los ríos, utilizando indicadores biológicos se encuentran las realizadas por Forbes (1910), quien llevó a cabo un estudio en el Río Illinois, durante el cual fueron colectadas muestras de peces y moluscos, fauna bentónica, zooplancton y fitoplancton. Como resultado del estudio se planificó adecuadamente la pesquería del río, de acuerdo con el impacto que la contaminación causa sobre ella. Posteriormente, Forbes y Richardson (1919), Richardson (1921, 1925 y 1928), Patrick (1954), Keup (1966) y otros, incrementaron los estudios de Forbes y delinearon toda una metodología para la investigación de los ríos.

A causa de los cambios a nivel bioquímico provocados en los organismos sometidos a aguas contaminadas, sobre todo en los niveles de hemoglobina, colinesterasa en la sangre y glicógeno contenidos en las células hepáticas, se ha podido obtener un patrón que permite establecer el nivel de contaminación en cada río (Gaufin y Tarzwell, 1952), sin embargo, en los países en vías de desarrollo este tipo de investigación no es frecuente. Por el contrario, es más factible trabajar en la búsqueda de organismos que puedan ser utilizados como indicadores biológicos de contaminación. Entre ellos los más utilizados son las algas, bacterias, macroinvertebrados y peces (Butcher, 1946; Thiennemann, 1954; Sramek-Husek, 1958; Knight y Lauff, 1967; Sprague, 1969; Cairns y Dickson, 1971 y Ravichandram, 1987).

Los macroinvertebrados bentónicos son particularmente útiles como indicadores de contaminación debido a que sus preferencias en la elección de su habitat y su baja movilidad permiten que sean afectados directamente por sustancias tóxicas. Además, por ser macroscópicos se facilita la colec-

ta, preservación, identificación y análisis (Green y Vascotto, 1978).

Una vez identificada la comunidad béntica, ésta debe de ser descrita en términos de su estructura (Vargas, 1987), expresada como la variación cuantitativa de individuos y especies en el espacio y el tiempo (Gray, 1974). Los datos obtenidos de estudios sobre contaminación en ríos basados en este precepto, requieren para su análisis necesariamente de técnicas multivariantes (Bennett y Bovers, 1976; Kendall, 1980; Pla, 1986). De acuerdo con ello, Ravichandran (1987) ha demostrado la utilidad del análisis multivariado en un estudio desarrollado con base en el uso de índices de diversidad como un discriminante ambiental.

La detección del estado de contaminación, ubicación puntual de las zonas de mayor contaminación y su evolución en el tiempo y en el espacio en los ríos señalados fueron los objetivos propuestos para esta investigación, como un paso previo a la ejecución de acciones que permitan la recuperación de estos sistemas.

ZONA DE ESTUDIO

La provincia de Heredia se encuentra localizada dentro del Sistema Montañoso Central. Dada su ubicación y condición climática, se caracteriza por poseer una época seca de diciembre a abril, una época lluviosa de mayo a noviembre, vientos alisios del noreste (diciembre-abril), vientos del Pacífico (oestes ecuatoriales) portadores de lluvia (mayo a noviembre) y regímenes pluviales y térmicos similares (Herrera, 1985).

La zona de muestreo se ubicó en la periferia de la región central de la provincia, comprendiendo los cantones de San Isidro, San Rafael, Central, Flores, Belén y Santa Bárbara (Fig. 1).

MATERIAL Y METODOS

I. Toma de muestras y procesamiento

Dentro del área de muestreo se seleccionaron con ayuda de hojas topográficas los ríos y se ubicaron a lo largo de su cauce una serie de estaciones cercanas a los centros de población más importantes. A la vez se trató de conservar cierta regularidad en cuanto a la altura en que se ubicaron las estaciones, para poder establecer comparaciones entre los ríos (Cuadro 1).

La toma de muestras se inició en setiembre

CUADRO 1

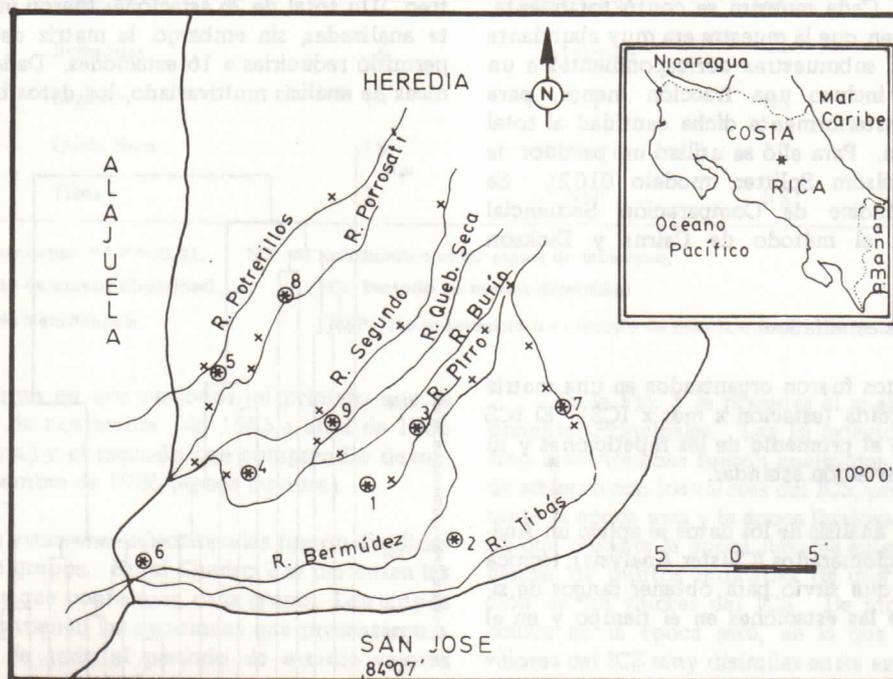
**RIOS MUESTREADOS EN LA PROVINCIA DE HEREDIA,
CON SUS RESPECTIVAS ESTACIONES**

| RIO | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B |
|---------------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| Bermúdez | 980, | 1 | 1000, | 6 | 1040, | 9 | 1440, | 24 | 1500, | 25 | 1820, | 26 |
| Queb. Seca | 920, | 29 | 970, | 21 | 970, | 20 | 1340, | 19 | | | | |
| Segundo | 1080, | 23 | 1140, | 15 | 1400, | 10 | 2120, | 11 | | | | |
| Tibás | 1260, | 2 | 1340, | 3 | 1400, | 4 | 1600, | 27 | | | | |
| Porrosatí | 1060, | 31 | 1160, | 33 | 1300, | * | 1720, | 13 | | | | |
| Potrerosillos | 1140, | 32 | 1340, | 34 | | | | | | | | |
| Burío | 1280, | 18 | | | | | | | | | | |
| Pirro | 1100, | 16 | 1240, | 30 | | | | | | | | |

* Esta estación se muestreó únicamente durante la época seca.

A: Altura sobre el nivel del mar (m).

B: Número de estación de muestreo.



LOCALIDAD ⊗

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| 1 Heredia | 5 Santa Bárbara |
| 2 Santo Domingo | 6 San Antonio |
| 3 San Rafael | 7 San Isidro |
| 4 San Joaquín | 8 San José de la Montaña |
| | 9 Barba |

Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo. Las marcas (x) representan las estaciones de cada río.

de 1985 y se efectuó el análisis de las muestras colectadas hasta febrero de 1987, para un total de 9 muestreos. Los intervalos de muestreo variaron entre 60 y 90 días. Todas las muestras fueron colectadas durante la mañana y las primeras horas de la tarde. En cada muestreo se analizaron 20 estaciones.

En cada estación, la recolección del bentos de sedimento se realizó utilizando un cuadrante de 625 cm^2 , el cual se colocó en el cauce del río, procediendo a coleccionar el sedimento presente hasta una profundidad de 5 cm, posteriormente fue depositado en una bolsa plástica debidamente identificada que se fijó con una solución de formalina al 10 0/0. Cada muestra se colectó por triplicado. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Investigación en Limnología de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, en donde fueron analizadas. Para ello, las muestras de sedimento fueron tamizadas con ayuda de una batería de cribas de 250, 500 y 1.000 micras (Newark, U.S. Standar Steve Series), y se separó el zoobentos presente en cada muestra, luego se colocaron en un frasco debidamente rotulado para su posterior análisis. Cada muestra se contó totalmente. En los casos en que la muestra era muy abundante se analizaron submuestras correspondientes a un 1/2, 1/4 e incluso una fracción menor, para extrapolar posteriormente dicha cantidad al total de la muestra. Para ello se utilizó un partididor de muestras (Folsom Splitter, modelo 0102). Se obtuvo el Índice de Comparación Secuencial (ICS), según el método de Cairns y Dickson (1971).

II. Análisis estadístico

Los datos fueron organizados en una matriz de doble entrada (estación x mes x ICS). El ICS obtenido fue el promedio de las repeticiones y su respectiva desviación estándar.

Para el análisis de los datos se aplicó un Análisis por Conglomerados (Cluster Analysis); técnica exploratoria que sirvió para obtener rangos de similitud entre las estaciones en el tiempo y en el espacio.

El análisis se llevó a cabo con un cuadro de dispersión de "n" muestras y "s" estaciones, conteniendo datos relativos al Índice de Comparación Secuencial, que fue obtenido con la ayuda de la hoja electrónica de Lotus 1-2-3.

El Análisis por Conglomerados se efectuó

por importación de los datos contenidos en Lotus 1-2-3 hacia el paquete estadístico STATGRAPHICS.

Posteriormente, se aplicó un análisis por Componentes Principales, con el objeto de ubicar en un plano de coordenadas cartesianas aquellas estaciones similares en cuanto a los valores del ICS, según el método propuesto por Pla (1986). Previo a este análisis, los datos originales fueron transformados por medio de una matriz de varianzas, indispensable para realizar el análisis multivariado de tipo R, utilizando para ello el programa STATGRAPHICS.

STATGRAPHICS fue utilizado para relacionar los datos biológicos con la distribución en la cuenta de los ríos seleccionados, la altura de las estaciones y los niveles de precipitación estacional.

RESULTADOS

En la Fig. 2 se presenta el Análisis por Conglomerados realizado para las estaciones de muestreo. Un total de 26 estaciones fueron inicialmente analizadas, sin embargo, la matriz de varianzas permitió reducirlas a 16 estaciones. Dadas las técnicas de análisis multivariado, los datos biológicos

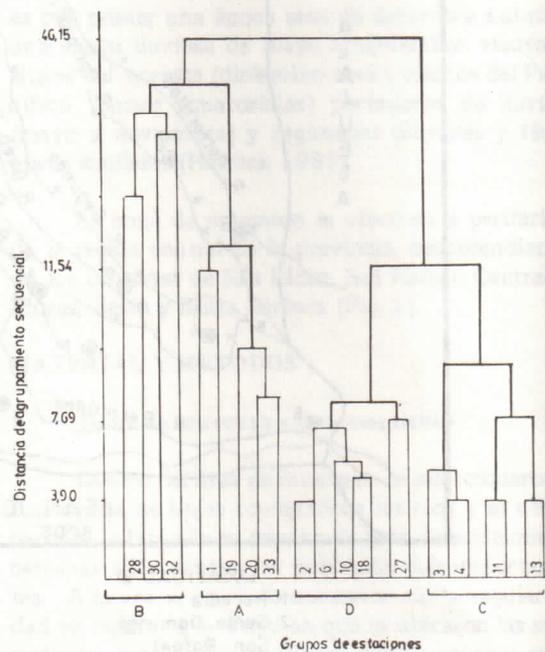


Figura 2. Análisis de conglomerados para los puntos seleccionados en el estudio del bentos de sedimento.

CUADRO 2

GRUPOS DE ESTACIONES DEFINIDAS POR CONGLOMERADOS.
MUESTRAN LOS PERIODOS DE MAYOR Y MENOR DIVERSIDAD
(MUESTREO 1985-1986)

| Grupo | RIO | estación | A | B | C |
|-------|--------------------|----------|---------------|----|---------------|
| A | Bermúdez | 1 | NSP | NS | todo el año |
| | Burío - Queb. Seca | 19 | Set-Nov. | ** | May - Jul. 86 |
| | Burío - Queb. Seca | 20 | Oct-Nov | ** | Nov 85-Set 86 |
| | Porrosatí | 33 | NSP | NS | todo el año |
| B | Segundo | 28 | Set-Nov 86 | ** | Set 85-Jul 86 |
| | Pirro | 30 | NSP | NS | todo el año |
| | Potrerrillos | 32 | NSP | NS | todo el año |
| C | Tibás | 3 | NSP | NS | " |
| | Tibás | 4 | May-Oct 86 | ** | Set 85-Feb 86 |
| | Segundo | 11 | todo el año | NS | NSP |
| | Porrosatí | 13 | Set 85-Feb 86 | ** | May-Jul 86 |
| D | Tibás | 2 | Set-Oct 86 | ** | Set 85-Jul 86 |
| | Bermúdez | 6 | Jul-Oct 86 | ** | Set 85-May 86 |
| | Segundo | 10 | NSP | NS | todo el año |
| | Queb. Seca | 18 | Set-Oct 86 | ** | Set 85-Jul 86 |
| | Tibás | 27 | NSP | NS | todo el año |

Prueba t' student: ** $P \leq 0,01$, NS: no significativo entre meses de muestreo.

A: Período de mayor diversidad

C: Período de menor diversidad

B: Nivel de significancia

NSP: No se presentó un período de mayor o menor diversidad.

se dividieron en dos períodos, el primero que se extendió de noviembre de 1985 a abril de 1986 (época seca) y el segundo que comprendió de mayo a noviembre de 1986 (época lluviosa).

Las estaciones seleccionadas fueron divididas en cuatro grupos. En el Cuadro 2 se presentan las estaciones que conforman cada grupo. Los grupos A y B contienen las estaciones que presentaron a lo largo de todo el período de estudio valores bajos, relativos al ICS. El grupo D representa las estaciones con un ICS medio y que en su mayoría presentaron una variación positiva en los valores del índice durante el cambio de época seca a lluviosa. El grupo C involucra a aquellas estaciones sin ninguna contaminación aparente y un alto ICS a lo largo de todo el período de estudio.

En la Fig. 3 se presenta el análisis por Componentes Principales. Las 16 estaciones de muestreo seleccionadas fueron analizadas por separado de acuerdo con los valores del ICS, presentados durante la época seca y la época lluviosa. Se determina que durante la época lluviosa existe una coincidencia de puntos indicativa de una homogenización en los valores del ICS. De modo diferente ocurre en la época seca, en la que se presentan valores del ICS muy disímiles entre estaciones.

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de medias para los valores del ICS. Se mantiene el mismo comportamiento, respecto del referido en el Análisis por Conglomerados.

Finalmente, en el Cuadro 3 se indica un de-

CUADRO 3

VARIACION EN LA ABUNDANCIA (IND/0,04 m²) PARA LOS GRUPOS BENTONICOS MAS IMPORTANTES, PRESENTES EN EL SEDIMENTO DE LOS RIOS ANALIZADOS Y SU DESVIACION ESTANDAR, A TRAVES DE LOS MESES DE MUESTREO.

| RIO | Oligoquetos | | Quironómidos | | Trichopteros | | Varios (*) | |
|--------------|-------------|----------|--------------|----------|--------------|-----------|--------------|----------|
| | E.S | E.LI | E.S | E.LI | E.S | E.LI | E.S | E.LI |
| Bermúdez | 408 ± 10 | 876 ± 15 | 14,0 ± 0,9 | 73 ± 3 | 1,0 ± 4,5 | 65 ± 8 | 1,0 ± 3,6 | 36 ± 7 |
| Queb. Seca | 2601 ± 96 | 882 ± 23 | 34,0 ± 6,4 | 30 ± 8 | -- | 7 ± 1 | 41,0 ± 0,3 | 127 ± 19 |
| Segundo | 187 ± 32 | 474 ± 10 | 149 ± 22 | 384 ± 32 | 1,0 ± 5,1 | 21 ± 0,3 | 1,0 ± 0,0 | 50 ± 15 |
| Tibás | 100 ± 12 | 15 ± 3 | 17,0 ± 6,3 | -- | -- | 1 ± 6 | 65,0 ± 19,3 | 3 ± 0,9 |
| Porrosatí | 130 ± 7 | 93 ± 15 | 5,0 ± 1,9 | -- | -- | -- | 112,0 ± 46,0 | 39 ± 6 |
| Potrerrillos | 33 ± 9 | 2 ± 8 | 8,0 ± 0,6 | -- | -- | -- | 28,0 ± 11,8 | -- |
| Burfo | 40 ± 10 | 21 ± 12 | 2,0 ± 3,1 | -- | -- | -- | 13,0 ± 6,1 | 81 ± 3 |
| Pirro | 426 ± 32 | 317 ± 22 | 88,0 ± 19,5 | 61 ± 9 | -- | 4,0 ± 2,9 | 1,0 ± 8,2 | 5 ± 1 |

(*) Hirudíneos, Simulidos, Tendipédidos, Sphaeriadae, Acaros, Anfípodos, Gastrópodos, Efemerópteros, Odonatos, Dípteros.

E.S. = Epoca Seca

E. LI = Epoca Lluviosa

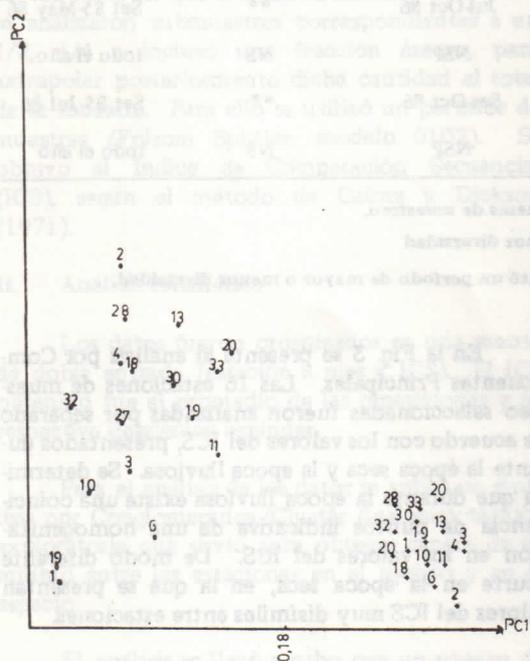


Figura 3. Primer y segundo componente principal (PC), calculado a partir del Índice de Comparación Secuencial (CS) en estación de muestreo, durante la época seca (0) y la época lluviosa (+). Cada número corresponde a una estación.

talle de la abundancia promedio para los grupos bentónicos encontrados en el sedimento de los ríos analizados, en donde se puede observar, en forma general, los patrones de abundancia y distribución que se presentaron entre la época lluviosa y la seca.

DISCUSION

El Índice de Comparación Secuencial (ICS), permitió agrupar las estaciones sometidas al análisis por conglomerados según sus similitudes. En el grupo A y B se encuentran las estaciones que presentaron valores bajos del ICS, caracterizadas principalmente por la baja diversidad del bentos, siendo los oligoquetos el grupo dominante en estos ríos.

Las estaciones incluidas en el grupo D, presentaron un ICS medio, en este grupo se presenta una mayor diversidad que en A y B, lo que podría atribuirse a una leve recuperación del río, probablemente debida al factor en dilución presente durante el paso de la época seca a la lluviosa. Según Gray (1974), en invierno las aguas tienden a mostrar algún estado de recuperación, debido principalmente al aumento en el caudal del río. Se observa en las estaciones del grupo D, una mayor diversidad biológica siendo los oligoquetos y quironómidos los grupos más representativos, aunque tam-

bién se encontraron simúlidos, tendipédidos y efemerópteros.

Las estaciones del grupo C. con altos valores del ICS, se caracterizaron principalmente por su alto caudal, aguas transparentes y frías, con una diversidad biológica relativamente baja, sin llegar a presentar dominancia de unos grupos en particular. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Green y Vascotto (1978) y Ledger (1964), quienes afirman que los ríos del trópico se caracterizan por su baja diversidad bentónica en el cauce alto, tendiendo a aumentar en relación directa con el incremento en la temperatura del agua. En el grupo C, las estaciones muestreadas presentan una disminución en la abundancia de oligoquetos y quironómidos pero un aumento en la diversidad del bentos en general.

Todos los ríos analizados en las diferentes estaciones de muestreo, situadas a lo largo del caudal, mostraron ICS sumamente variables de una estación a otra, de un río a otro y de una época a otra, lo que hace suponer que se encuentran contaminados en mayor o menor grado. Resultados similares han sido reportados por Epifanio et al. (1983) y Ravichandran (1987).

Se determinó que los ríos Segundo, Tibás y Porrosatí presentaron a lo largo de su cauce, valores constantes para el ICS, lo que permitió considerarlos como recuperables. En el Río Segundo, en la estación de muestreo ubicada en la parte más alta de su cauce, los valores del ICS oscilaron entre 0,7 y 1,0 durante todo el período de estudio. Al analizar las estaciones del Río Segundo ubicadas en Barva y San Lorenzo, se determinó que ya las condiciones para el desarrollo del bentos de sedimento se vuelven críticas, no obstante que se detecta un efecto de recuperación en la época lluviosa, debido probablemente al incremento en el caudal del río en esta época. Los resultados obtenidos en los ríos Tibás y Porrosatí fueron similares a los observados en el Río Segundo.

En los ríos Bermúdez y Quebrada Seca, ubicados en las localidades de San Isidro y Getsemaní, se obtuvieron valores bajos para el ICS, lo que permite suponer que se encuentran en estado de mediana a alta contaminación (Cairns y Dickson, 1971).

Las variaciones en los valores del ICS son altamente significativas entre la época seca y la lluviosa. Durante la primera se registraron los valores más bajos.

El río Bermúdez, al pasar por las localidades de Santo Domingo y El Barreal, presenta valores del ICS casi igual a cero, producto de la dominancia absoluta de los oligoquetos sobre los otros grupos bentónicos. De acuerdo con ello, ambos ríos se presentan como recuperables en su cauce medio, a mediano plazo. En su cauce más bajo la recuperación sería a largo plazo y ello demanda tomar acciones en breve.

La actividad industrial, incide en los resultados obtenidos con el Río Burío, las estaciones ubicadas en el cantón de Belén arrojaron valores del ICS muy bajos, lo que permite considerar que estos sectores del río presentan posibilidades de recuperación a largo plazo. Resultados similares fueron obtenidos en el cauce bajo de los ríos Pirro y Porrosatí durante todo el período de estudio, dado que ni siquiera el factor de dilución favoreció algún proceso de recuperación, tal y como se demuestra en el análisis por componentes principales.

Durante el período de estudio, en las partes altas de los ríos Segundo, Tibás, Bermúdez y Porrosatí se detectaron valores relativamente altos para el ICS. Se recomienda emprender acciones que preserven la calidad de sus aguas en la parte alta del cauce, e iniciar acciones de recuperación del cauce medio y bajo en estos ríos.

Los ríos Pirro, Burío-Quebrada Seca y las partes bajas del Río Segundo, arrojaron valores muy bajos del ICS, presumiblemente debido al efecto de los contaminantes producto de la actividad industrial y agrícola y al bajo caudal que presentan durante casi todo el año; este último probablemente afectado por la intensa deforestación que sufre esta zona a partir del cauce medio del río, entre otros factores.

AGRADECIMIENTOS

Al MSc. Juan Bolaños por su apoyo en la revisión del análisis multivariable y al Dr. Klaus Gocke por su revisión del manuscrito.

4 de marzo de 1989.

REFERENCIAS

- Bennett, S. y D. Bovers. 1976. An introduction to multivariate techniques for social and behavioral sciences. Mac Millan, London, 156 pp.
- Butcher, R.W. 1946. The biological detection of pollution. *J.Inst. Sewage Purif.* 2: 92-97.
- Cairns, J. y L.K. Dickson. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of waste discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *J. WAT. POL. CONT.* 13: 755-772.
- Epifanio, C.E., D. Maurer y A.I. Dittel. 1983. Seasonal changes in nutrients and dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiologia* 101: 231-238.
- Forbes, S.A. 1910. Biological investigations of the Illinois River. II. The investigation of a river system in the interest of fisheries. *AM. FISH. SOC., MEET N.Y.* vol I: 345-354.
- Forbes, S.A. y R.E. Richardson. 1919. Some recent changes in Illinois River biology. *BULL. ILL. NAT. HIST. SURV.* 13: 139-156.
- Gaufin, A.R. y C.M. Tarzwell. 1952. Aquatic invertebrates as indicators of stream pollution. *PUBL. HEALTH. REV.*, 67:157-164.
- Gray, J.S. 1974. Animal sediment relationship. *OCEANOGR. MAR. BIOL. ANNU. REV.* 12: 223-261.
- Green, R.H. y G.L. Vascotto. 1978. A method for the analysis of environmental factors controlling patterns of species composition in aquatic communities. *WATER RES.*, 12: 583-590.
- Herrera, W. 1986. El clima de Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). San José, Costa Rica. 94 pp.
- Kendall, M.G. 1980. Multivariate analysis. 2nd. edition. Charles Griffin y Co., London. 207 pp.
- Keup, L.E. 1966. Stream biology of assessing sewage treatment plant efficiency. *WATER & SEW. WORKS.* 113, 411 pp.
- Knight A.W. and Lauff G.H. 1967. Biotic response to pollution reduction in a river. Proj. Termination Rep., Project A-010, Michigan. University of Michigan Press. 87 pp.
- Ledger, D.C. 1964. Some hydrological characteristics of West African rivers. *TRANS. INST. BR. GEOGR.* 35: 73-90.
- Patrick, R. 1954. Diatoms as an indication of river change. *PROC. IND. WASTE. CONF.*, 9th., Purdue Univ. Eng. Ext. Serv. 87:325-330.
- Pla, L.E. 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Publicaciones de la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C. 93 pp.
- Ravichandran, S. 1987. Water quality studies on Buckingham Canal (Madras, India). A discriminant analysis. *HYDROBIOLOGIA.* 154: 121-126.
- Richardson, R.E. 1921. Changes in the bottom and shore fauna of the middle Illinois river and its connecting lakes since 1913-1915 as a results of the increase, southward of sewage pollution. *BULL. ILL. NAT. HIST. SURV.* 14: 330-375.
- Richardson, R.E. 1925. Illinois river bottom fauna in 1923. *BULL. ILL. NAT. HIST. SURV.* 15: 391-422.
- Richardson, R.E. 1928. The bottom fauna of the middle Illinois river 1913-1925, its distribution, abundance, valuation and index value in the study of stream pollution. *BULL. ILL. NAT. HIST. SURV.* 17: 387-475.
- Ross, H.H. 1963. Stream communities and terrestrial biomes. *ARCH. HYDROBIOL.* 59: 235-242.
- Sprague, J.B. 1969. Measurement of pollutant toxicity to fish. I. Bioassay methods for acute toxicity. II. Utilizing and applying bioassay results. *WATER. RES.* 3: 793-821.
- Sramek-Hussek, R. 1958. The role of ciliate in the biological control of the insects. *VERH. INT. VEREIM. THEOR. ANGEW. LIMNOL.* 13: 636-645.
- Thienemann, A. 1954. *Chironomus*. Leben, verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung der Chironomiden Du Binnengewasser 20: 121-130.
- Vargas, J.A. 1987. The benthic community of an intertidal mud flat in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. Description of the community. *REV. BIOL. TROP.* 35(2): 299-316.
- Vooren, C.M. 1972. Ecological aspects of the introduction of fish species into natural habitats in Europe, with special reference to the Netherlands. *J. FISH. BIOL.* 4: 565-583.
- Whitton, B.A. 1975. River Ecology. Studies in Ecology. University of California Press, L.A. 2: 725 pp.