

ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES MACROBENTICAS EN EL RIO MANZANARES Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES Y SU RELACION CON LA CALIDAD DEL AGUA

STUDY OF THE MACROBENTHIC COMMUNITIES IN THE MANZANARES RIVER AND ITS MAIN TRIBUTARIES AND THEIR RELATIONSHIP WITH WATER QUALITY

Alfonso Escobar Nieves*

RESUMEN

Entre diciembre de 1985 y enero de 1987 se realizó un estudio limnológico en el río Manzanares y sus principales afluentes, localizados en el departamento de Magdalena, Colombia. Se seleccionaron cinco estaciones de muestreo en el área de estudio, en cada una de las cuales se realizaron mediciones de 11 parámetros fisicoquímicos, se analizó la fauna de invertebrados y su relación con la calidad del agua y se determinó la estructura de la comunidad.

Los factores abióticos registraron una variación estacional que depende fundamentalmente del régimen bimodal de lluvias y refleja el estado de deterioro (deforestación, pérdida del suelo y contaminación) de las áreas de la cuenca. Se encontró que con las estaciones de estudio se cumple una relación inversa entre el índice de diversidad y el grado de contaminación presente. El río constituye un sistema en tensión sometido a diversos grados de deterioro que provocan cambios en la estructura y la organización de las comunidades presentes en cada una de las zonas de estudio. La ubicación de la ciudad de Santa Marta en la desembocadura impide que el río logre su autodepuración antes de descargar sus aguas en la bahía de Santa Marta provocando la contaminación de las aguas costeras de uso recreativo.

ABSTRACT

A limnological study of the river Manzanares and its main tributaries (Department of Magdalena, Colombia) was carry out between December 1985 and January 1987. Five stations representing the whole studied area were selected; in each one 11 physical and chemical parameters were measured, the invertebrate fauna and its relationship with water quality was analysed, and the community structure was determined. The abiotical factors showed a seasonal variation, depending basically on the bimodal rainy pattern and reflecting the depauperate state of the basin (deforestation, soil loss and pollution). An inverse relation between the diversity index and the level of pollution present was found. The river is a stressed sistem supporting several degrees of deterioration, provoking structural and organization changes in the communities present in each studied zone. The location of the city of Santa Marta at the mouth of the river precludes the self recuperation of the river; therefore, it discharges its water in the bahía de Santa Marta causing contaminations of the coastal waters used recreationally.

INTRODUCCION

El río Manzanares constituye un ecosistema lótico de gran importancia en el desarrollo social y económico de la ciudad de Santa Marta y las comunidades ribereñas localizadas a lo largo de su recorrido. Representa la principal fuente de suministro de agua potable para la ciudad y de agua para el riego de las zonas de cultivo ubicadas en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, siendo el cultivo de

café el de mayor importancia tanto desde el punto de vista económico como por los contaminantes que produce su mantenimiento y las operaciones de limpieza del grano.

El estudio de la estructura de las comunidades bénticas tiene gran importancia en la evaluación de los ecosistemas acuáticos, en razón a la interacción existente entre estos organismos y el medio abiótico que les rodea y sirve de hábitat. Debido a su hábito

* Profesor, Fac. de Educación, Univ. Tecnológica de Magdalena, Santa Marta.

sésil, adherido a las rocas, troncos y demás sustratos presentes en el fondo del río, estos organismos soportan espacio-temporalmente el efecto de los cambios que se producen en el agua. El análisis tanto cuantitativo como cualitativo de la estructura de las comunidades y sus relaciones con el medio ambiente permite evaluar el estado de deterioro presente en el ecosistema acuático.

Es conveniente mencionar que es relativamente poco el conocimiento que se tiene acerca de estudios limnológicos efectuados en los ecosistemas neotropicales, con excepción de los trabajos realizados en la región andina peruana y en diferentes localidades de la región amazónica, de los cuales Roldán (1980) hace una importante revisión.

En la mayor parte de Colombia existe poca información al respecto, con excepción de las investigaciones realizadas en el departamento de Antioquia por Roldán *et al.* (1973), Pérez y Roldán (1978), Roldán (1980) y Matthias y Moreno (1983) referente a las comunidades de macroinvertebrados del río Medellín.

Desde el punto de vista taxonómico y relacionado con aguas de corrientes, se han reportado igualmente para Antioquia estudios acerca de la fauna de efemerópteros (Roldán, 1985), tricópteros (Correa *et al.*, 1981), hemípteros (Alvarez y Roldán, 1983), odonatos (Arango y Roldán, 1983) y dípteros (Bedoya y Roldán, 1984). En cuanto a otras áreas geográficas de Colombia se tienen los trabajos realizados por Roback y Nieser (1974) sobre hemípteros en los Llanos Orientales y Muñoz *et al.* (1984) acerca de la taxonomía de simúlidos (dípteros) de la región de La Calera (Cundinamarca).

Hasta el momento no se tiene ninguna información de trabajos realizados sobre el tema en el río Manzanares, a pesar de los múltiples usos de que es objeto. Pérez (1962), en un estudio ecológico para el manejo de las cuencas de los ríos Manzanares y Gaira, menciona los malos manejos que sobre sus cuencas hidrográficas se tiene en razón al mal uso y distribución de las tierras y la gran deforestación de sus riberas. Escobar (1981), en un estudio sobre la evaluación de la calidad bacteriológica de las aguas de la bahía de Santa Marta, recomienda una serie de medidas tendientes a la recuperación del recurso hídrico de notoria influencia contaminante en las playas de ese sector turístico.

El presente trabajo, además de estudiar las comunidades bénticas de macroinvertebrados presentes en el río

Manzanares y sus principales afluentes, se propone evaluar las fuentes de contaminación y el efecto producido en la estructura de las comunidades biológicas que habitan en el fondo del río. Igualmente se estudia la relación de la fauna béntica como indicadora de la calidad presente en cada una de las estaciones de muestreo ubicadas en diferentes puntos del río. Con la información analizada se presentan las recomendaciones que permitirán la adopción de una serie de medidas que coadyuven a controlar el acelerado proceso de deterioro del río Manzanares.

Descripción del área de estudio

El río Manzanares nace en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta en la cuchilla San Lorenzo a una altura aproximada de 3000 m sobre el nivel del mar, en una zona de vida que corresponde a una transición entre bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) según clasificación de Holdridge (Espinal y Montenegro, 1963). Se origina a partir de la unión de las quebradas Onaca y Girocasaca (con aguas consideradas relativamente claras y poco contaminadas) y desciende hasta el nivel del mar, irrigando una cuenca hidrográfica con una extensión aproximada de 20.000 ha (fig. 1). A pesar de la corta longitud de la cuenca, su ubicación geográfica le permite atravesar una variedad de zonas de vida comprendidas entre un bosque muy húmedo montano bajo y un monte espinoso tropical (me-T). Esta situación favorece ecológicamente al valle porque contribuye positivamente a la regulación del clima y del agua de la región.

Para el presente estudio se seleccionaron cinco estaciones correspondientes a diferentes condiciones de calidad del agua que presenta el río Manzanares en su recorrido. Las estaciones seleccionadas fueron las siguientes:

Estación Paso del Mango (PM). Esta estación se localiza al suroriente del corregimiento de Bonda, a 250 m sobre el nivel del mar en un bosque muy seco tropical (bms-T) según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge. La humedad relativa es de 85%. El río en este sector presenta aguas limpias y claras y condiciones poco perturbadas, y es afectado principalmente por la erosión y contaminación agrícola moderada durante la estación de lluvias. El fondo del río es pedregoso arenoso.

Estación quebrada Vira Vira (VV). Está localizada en proximidades del corregimiento de Calabazos, a 140

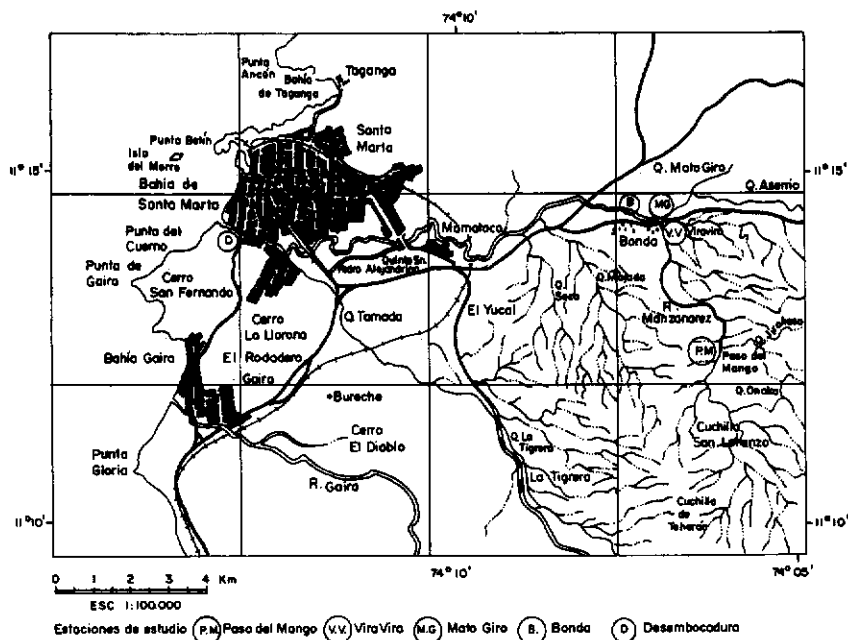


Fig. 1. Localización de las estaciones de muestreo.

Fig. 1. Localización geográfica de las estaciones de muestreo a lo largo del río Manzanara y sus principales afluentes.

m sobre el nivel del mar en un bosque seco tropical (bs-T). El río en esta estación se encuentra muy afectado por la deforestación y la contaminación orgánica (entre moderada y alta), procedentes de actividades pecuaria y de matadero. Aun cuando el fondo generalmente es pedregoso arenoso, presenta abundantes residuos y lodos de origen orgánico.

Estación quebrada Mato Giro (MG). Está localizada en proximidades del corregimiento de Calabazos, a 140 m sobre el nivel del mar en un bosque seco tropical. En esta estación, el río presenta aguas limpias y claras y está poco afectado por la erosión. Su fondo es pedregoso arenoso.

Estación Bonda (B). Está localizada en el corregimiento de Bonda a 15 km al oriente del municipio de Santa Marta, a 90 m sobre el nivel del mar en un bosque muy seco tropical. En este sector el río presenta serios problemas de deforestación y erosión debido a la degradación mecánica del cauce por la extracción de arena para la construcción. Durante los meses finales de la estación seca, el río pierde tran-

sitoriamente su caudal produciéndose la acumulación de residuos domésticos y basuras de todo tipo.

Estación Desembocadura (D). Está localizada al sur de la ciudad a 1 m sobre el nivel del mar y a 500 m del sitio donde el río Manzanara vierte sus aguas al mar Caribe en una zona de vida clasificada como monte espinoso tropical. En el sector urbano de la ciudad de Santa Marta, el río recibe la mayor cantidad de contaminantes de origen principalmente doméstico y de basuras de todo tipo procedentes de los barrios del sur de la ciudad.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó entre diciembre de 1985 y enero de 1987 y cubrió los eventos estacionales marcantes del clima regional: un periodo seco (diciembre-abril) y dos periodos de lluvia (mayo-junio, octubre) (fig. 2).

En las estaciones de estudio los muestreos se realizaron con una frecuencia de uno por mes. El horario escogido para la toma de las muestras estuvo entre las 8:00 a.m. y las 12:00 m.

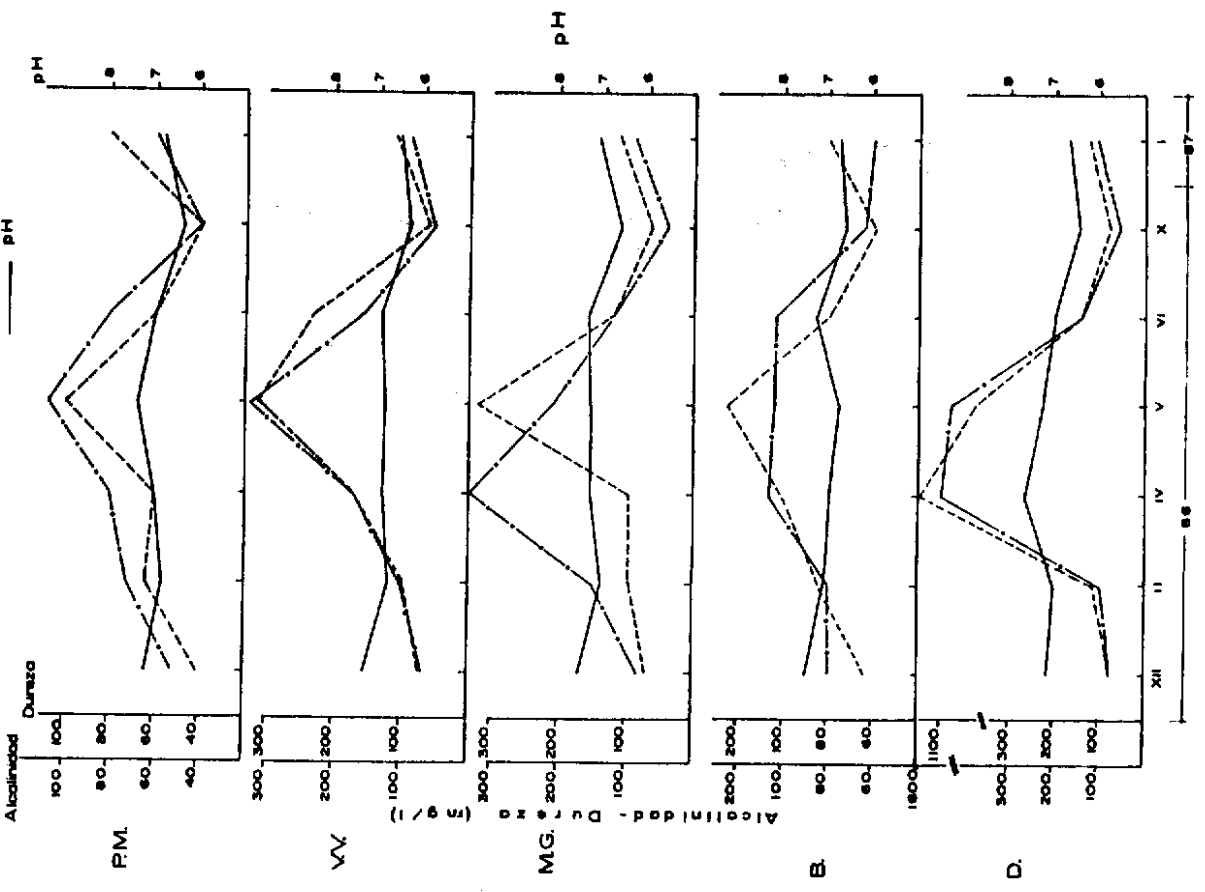


Fig. 3. Valores mensuales de alcalinidad total, dureza total y pH en las estaciones Paso del Mango (PM), quebrada Vira Vira (VV), quebrada Mato Giro (MG), Bonda (B) y Desembocadura (D) ubicadas a lo largo del río Manzanar y sus principales afluentes.

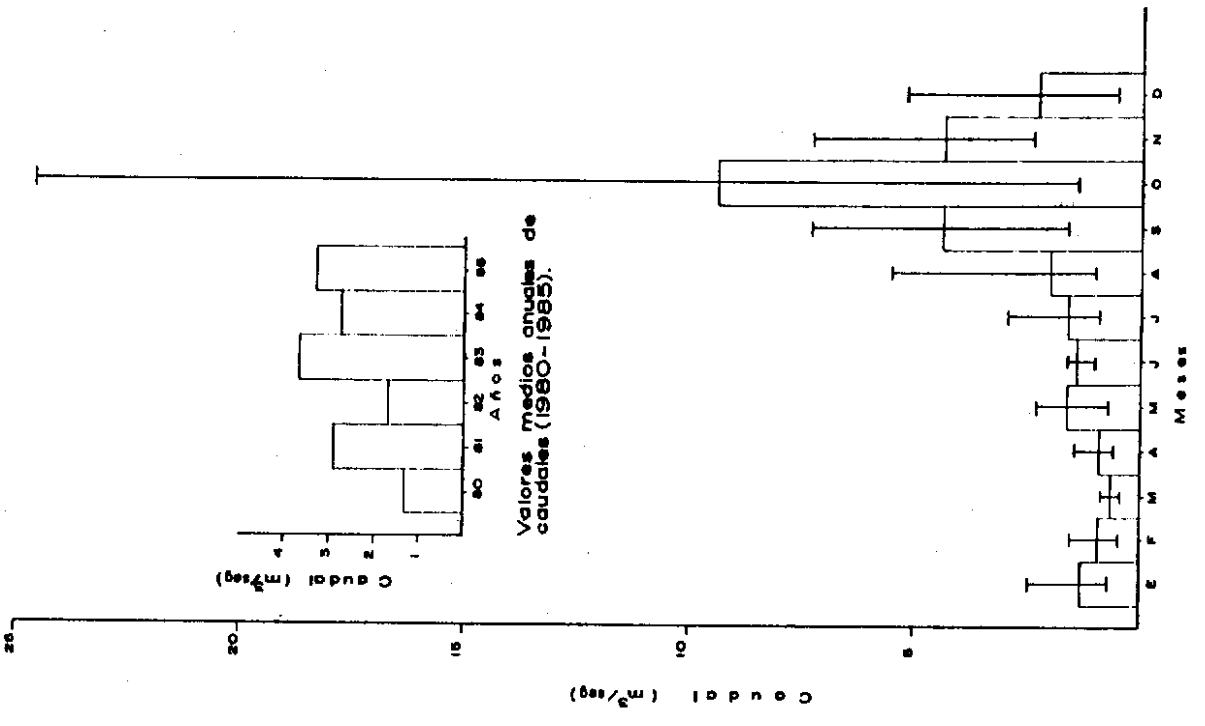


Fig. 2. Valores promedios de caudales (m³/seg) registrados entre 1980 y 1985 en la estación Bocatoma (HIMAT) del río Manzanar. También se muestran los valores promedios para cada mes.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

1. Parámetros ambientales

Se hicieron anotaciones con respecto a datos climáticos (dirección del viento, precipitación, humedad), datos ecológicos (sustrato, profundidad, tipos de vegetación en sus riberas y en su cuenca, altura y características del agua).

2. Parámetros fisicoquímicos

Se registró la temperatura del agua y del aire con un termómetro de mercurio de precisión $\pm 0.1^\circ\text{C}$. El oxígeno disuelto se determinó por el método Winkler. El pH se midió con un potenciómetro Knick Portatest 653. Las mediciones de los anteriores parámetros se realizaron en el campo. Las muestras para las determinaciones de nitratos, fosfatos, sulfatos, turbiedad, alcalinidad y dureza total se recolectaron en frascos plásticos de 1 l para su posterior análisis en el laboratorio con la ayuda de un fotocolorímetro HACH. La conductividad se registró por medio de un conductímetro HACH.

3. Parámetros biológicos

La recolección de macroinvertebrados bénticos se realizó mediante diferentes métodos dependiendo del tipo de lecho y del sustrato del río en cada estación de muestreo. El área de captura comprendió aproximadamente 2 m^2 . Las muestras de bentos en las partes del río con lecho pedregoso se recolectaron directamente de las piedras, pedazos de troncos y demás sustratos presentes en el río por medio de pinzas y estiletes. En las zonas con lechos fangosos y arenosos se emplearon dragas, palas y redes. Las muestras se depositaban en un cernidor para ser lavadas y luego se recolectaban directamente por medio de pinzas. Los organismos se fijaron en alcohol al 70% en frascos previamente rotulados con fecha y sitio de recolección. En el laboratorio se procedió a la identificación de las muestras hasta el taxón más accesible a la información disponible. Se determinó el número de taxones, el número de individuos por taxón y su abundancia. Finalmente se calculó el índice de diversidad biológica para los macroinvertebrados en las diferentes estaciones de muestreo, para lo cual se utilizó la fórmula de Shannon-Weaver, citada por Margalef (1957).

$$H = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{n} \log_2 \frac{n_i}{n}, \text{ en donde:}$$

H = diversidad

s = número de taxones en la muestra

n_i = número de individuos totales de una especie

n = número total de individuos en cada estación

Los valores de H se expresan en "bits" de información, ya que de acuerdo con Margalef (op. cit.) se conoce que las comunidades naturales se ajustan más a una curva geométrica o logarítmica normal.

RESULTADOS Y DISCUSION

A. Fisicoquímicos

En la tabla 1 se presentan los valores promedios registrados en cada una de las estaciones de estudio.

La temperatura del agua corresponde a un parámetro de gran importancia en el estudio de las comunidades bénticas, ya que tiene una gran influencia en el ciclo de vida y en la distribución de los organismos en el medio acuático.

La temperatura del agua y del ambiente registró poca fluctuación durante el periodo de estudio y se observó la tendencia a variar con la altura. Los valores más bajos (20 y 23°C) se detectaron en la estación Paso del Mango ubicada a mayor altura sobre el nivel del mar y los más altos (32 y 34°C) se presentaron en la estación Desembocadura localizada a 1 m sobre el nivel del mar.

El pH presentó valores relativamente altos y estables y osciló entre 6.27 y 7.68, manteniéndose dentro del rango normalmente presente en las aguas dulces (6.5 y 8.7). Los valores más bajos se presentaron en la estación Vira Vira de mayor contaminación orgánica. Las aguas de menor pH procedentes de esta última estación logran incrementar nuevamente los valores en los tramos finales de su recorrido y no afectan en forma apreciable el pH de las aguas del río Manzanares.

La concentración de oxígeno disuelto varió entre 1.30 y 9.02 mg/l de acuerdo con la magnitud de los aportes alóctonos y el grado de deterioro presente en cada una de las estaciones. Las variaciones de oxígeno reflejan las diferentes formas de uso humano y el estado actual de los ecosistemas de cuenca. En la figura 5 se muestra cómo las variaciones en las concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones depende principalmente de la influencia periódica de los aportes alóctonos procedentes de las áreas de cuenca. Así, durante los meses de mayo y octubre

de mayor precipitación (fig. 3) se registran las concentraciones menores de oxígeno debido al consumo que demanda la descomposición de la materia orgánica procedente de la cuenca.

Los máximos valores se detectaron en las estaciones con poca perturbación, como es el caso de Paso del Mango y Mato Giro de aguas relativamente claras y limpias.

Los valores mínimos se registraron en las estaciones Vira Vira y Desembocadura debido al consumo de oxígeno en los procesos de descomposición de los residuos orgánicos y domésticos procedentes, respectivamente, de mataderos privados y áreas urbanas de la ciudad de Santa Marta.

El análisis de las diferentes concentraciones de oxígeno demuestran que, con excepción de la estación Vira Vira y en algunos casos de la estación Desembocadura, los sitios de muestreo corresponden a aguas relativamente limpias y de buena oxigenación. Dado que el oxígeno constituye un factor de gran importancia en la supervivencia de los organismos acuáticos, se observó una variación inversa con relación a la diversidad biológica de las comunidades presentes en cada estación.

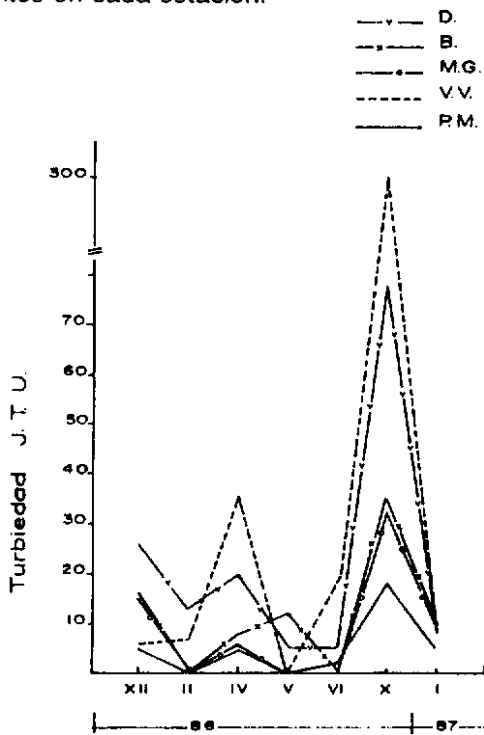


Fig. 4. Valores mensuales de turbiedad en las estaciones Paso del Mango (PM), quebrada Vira Vira (VV), quebrada Mato Giro (MG), Bonda (B) y Desembocadura (D) ubicadas a lo largo del río Manzanares y sus principales afluentes.

La alcalinidad y la dureza total presentaron valores altos que oscilaron entre 40.00 y 1600.00 mg/l para la alcalinidad y entre 40.00 y 1100.00 mg/l para la dureza. En la figura 3 se aprecia la alta correlación existente entre las variables alcalinidad y dureza total expresadas en forma de carbonato de calcio. Tal afinidad depende más que todo de las características hidrogeológicas de la cuenca que se refleja en la composición química de las aguas superficiales de los ríos y subterráneas de los acuíferos del Valle del Manzanares y del Gaira. Así mismo las variaciones expresan, aunque en menor grado, la influencia periódica de las áreas de cuenca durante la época de lluvias. La alta concentración del ion bicarbonato en las aguas del río Manzanares y sus afluentes explica la capacidad tampón y el particular efecto que debe producir en el mantenimiento de las condiciones de neutralidad de la acidez y del pH del agua. Teniendo en cuenta los valores altos de dureza y alcalinidad total, comparados con las normas permisibles para el uso humano, las aguas del río Manzanares y sus principales afluentes deben ser reconocidas como aguas duras.

La turbiedad varió entre 0.00 y 325.00 J. T. U. y el color entre 0.00 y 1250.00 ppm de Pt. Estos parámetros mostraron un rango muy amplio de valores y sus variaciones están relacionadas directamente con la ocurrencia de los periodos de mayor precipitación y la entrada de material en suspensión procedente de las áreas de cuenca (figs 2 y 4). Los altos valores registrados durante abril y octubre, de más alta precipitación, evidencian el estado actual de deterioro que presenta la cuenca afectada por problemas graves de deforestación y erosión. La alta turbiedad representa un factor negativo para la vida de los organismos acuáticos porque afecta el proceso respiratorio y desde el punto de vista económico incrementa los costos de tratamiento del agua, usada preferencialmente como potable.

La conductividad presentó valores altos que fluctuaron entre 100.00 y 1800.00 μ mhos/cm y su comportamiento, al igual que los nitratos y fosfatos, dependen principalmente de la precipitación por el efecto del lavado de los suelos desprotegidos de la cuenca y de la contaminación presente en cada una de las estaciones de estudio (fig. 6).

Los nitratos fluctuaron entre 0.00 y 5.10 mg/l y los fosfatos entre 0.00 y 14.5 mg/l (fig. 6).

Los valores de nitratos y fosfatos presentaron correlación directa con respecto a la conductividad y su

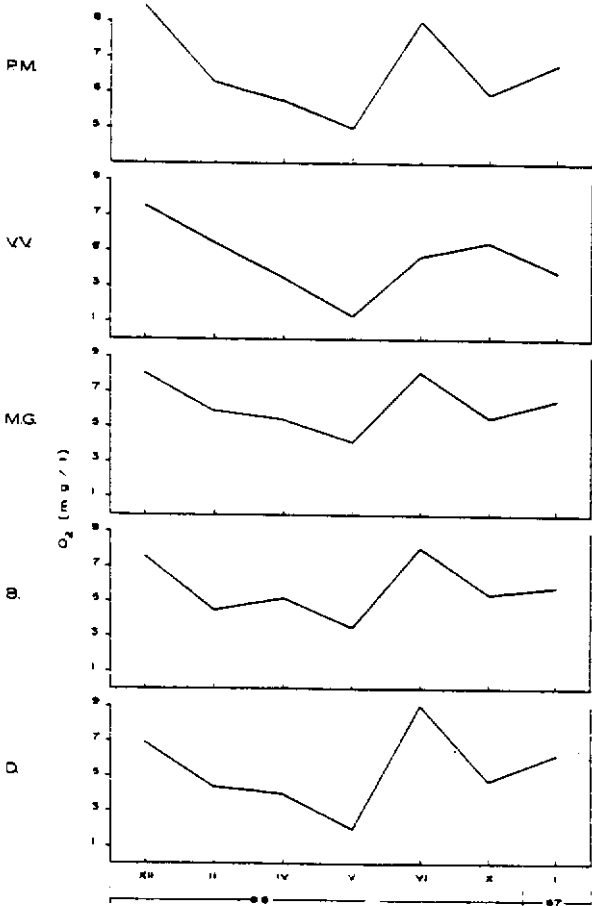


Fig. 5. Valores mensuales de oxígeno disuelto en las estaciones Paso del Mango (PM), quebrada Vira Vira (VV), quebrada Mato Giro (MG), Bonda (B) y Desembocadura (D) localizadas a lo largo del río Manzanares y sus principales afluentes.

concentración en el agua depende en mayor parte de los aportes alóctonos procedentes de las áreas de cuenca, que como resultado de los procesos biológicos que ocurren en el ambiente acuático. Los valores más altos de nitratos y fosfatos se detectaron, respectivamente, en las estaciones Paso del Mango y Desembocadura de mayor contaminación orgánica. Aunque el río Manzanares y sus principales afluentes presentan valores relativamente altos, están por debajo de los niveles permisibles establecidos por las normas nacionales e internacionales para el consumo humano y doméstico (CAR, 1976; Ministerio de Salud, 1984). La relación N/P aumenta durante los meses de extrema sequía (febrero) y disminuye para los meses de mayor precipitación (octubre). Tal variación depende en gran parte del incremento en la concentración de fósforo que procede del lavado de los suelos y áreas agrícolas de la cuenca durante la estación de lluvias y de la descomposición de la materia orgánica.

Los sulfatos presentaron fluctuaciones amplias y variaron entre 0.00 y 90.00 mg/l. Los valores máximos ocurrieron durante la época de lluvias como consecuencia del mayor arrastre de sedimentos y el lavado del suelo de las áreas de cuenca.

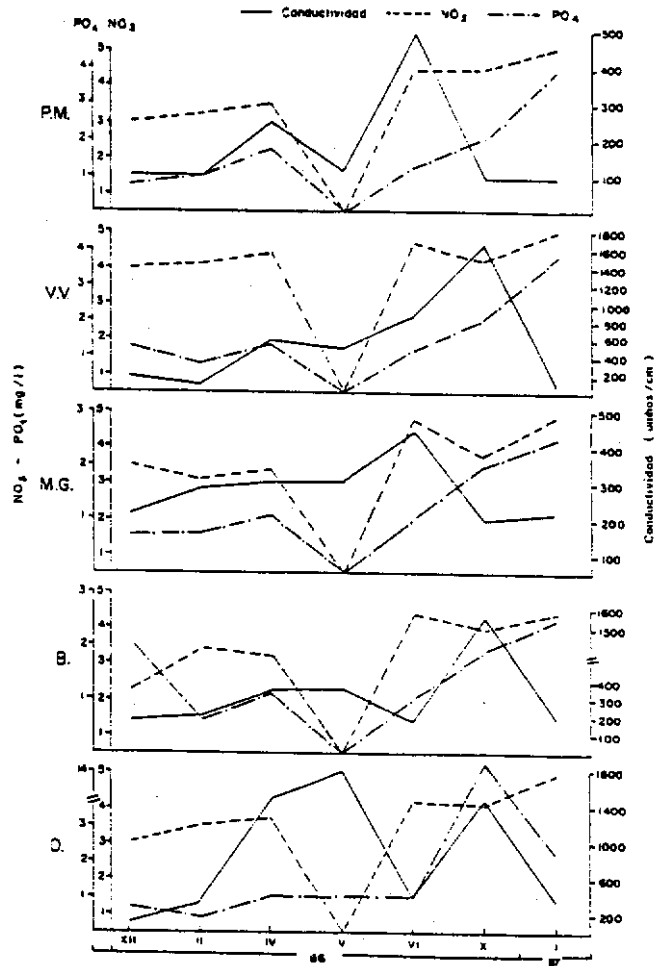


Fig. 6. Valores mensuales de nitratos, fosfatos y conductividad en las estaciones Paso del Mango (PM), quebrada Vira Vira (VV), quebrada Mato Giro (MG), Bonda (B) y Desembocadura (D) ubicadas a lo largo del río Manzanares y sus principales afluentes.

B. Biológicos

Los macroinvertebrados bénticos que habitan en el fondo de los ríos viven en interacción constante con su hábitat físico determinado. La estructura de la comunidad evoluciona paralelamente a lo largo del tiempo reflejando los cambios producidos en el medio acuático. Por este hecho el uso de los macroinvertebrados bénticos como indicadores biológicos de la contaminación adquiere una gran importancia al evidenciar las condiciones presentes, en un momento dado, en el ecosistema acuático.

Estructura de la comunidad béntica

La tabla 2 presenta el número de macroinvertebrados bénticos encontrados por estación y el porcentaje en que cada grupo se halla presente para cada estación.

El máximo número de especies encontradas fue 48 en Paso del Mango y el mínimo fue 11 en Desembocadura. Los dípteros de la subfamilia Chironominae constituyeron más del 60% de la población de macroinvertebrados totales de las estaciones Vira Vira y Desembocadura, indicativas de una condición entre moderada y de alta contaminación.

Zonas de aguas claras

En la figura 7 se presenta la estructura de la comunidad béntica de cada estación. En Paso del Mango se encontró el mayor número de especies (48), presentándose en mayor porcentaje los géneros *Zaitzevia* (14.64%) y *Anacronuria* (12.97%), que son organismos característicos de aguas limpias y bien oxigenadas, condición que puede confirmarse por la presencia de los géneros *Psephenops* y *Simulium*. Se encontró que los dípteros constituyeron un grupo abundante, registrándose 11 géneros con bajas densidades para especies consideradas en su mayoría de aguas limpias. La presencia de la familia Chironomidae en la estación puede constituir una señal de que el lugar recibe temporalmente una contaminación de menor grado. Este hecho puede corroborarse debido a la presencia del género *Dactylobaetis* (1%) característico de aguas sujetas periódicamente al arrastre de sedimentos.

En general, los dípteros presentaron el mayor número de especies (11), seguidos de los efemerópteros (7), hemípteros (7) y tricópteros (6). Las especies encontradas presentaron un predominio inferior al 15% y se encuentran distribuidas equitativamente, siendo

las especies de aguas claras las más favorecidas por el flujo de energía.

En Mato Giro se encontraron 37 especies de organismos que representan una diversidad biológica alta. El mayor porcentaje de individuos estuvo representado por el género *Leptonema* (10.14%), seguido de la subfamilia Chironominae (8.7%) y los géneros *Simulium* (8%), *Terpides* (8%) y *Smicridea* (7.6%). Es importante anotar que aun cuando la mayoría de las especies son indicadoras de aguas claras, el porcentaje de organismos desciende y la distribución de las especies tiende a ser más uniforme que en Paso del Mango. Este hecho permite considerar que la mayor parte de la energía pueda ser utilizada proporcionalmente con igual eficiencia tanto por las especies indicadoras de aguas claras como por especies indicadoras de aguas sujetas a contaminación y deja detectar un estado transitorio de cambio en la estructura de la comunidad provocado por problemas de contaminación creciente. Así, el género *Leptonema* tiende a reducirse hasta 10.14%, en tanto que la familia Chironomidae empieza a adquirir un mayor grado de importancia en la comunidad representando el 14.85% del total de individuos. Al igual que la estación anterior, los dípteros constituyeron el grupo más diverso en especies (10), seguidos por los efemerópteros (6), coleópteros (6) y odonatos (5). Los porcentajes de organismos en la población estuvieron por debajo de 11%, lo que indica condiciones favorables para la distribución uniforme entre las diferentes especies reportadas.

En general, el sistema presenta características de aguas claras, con condiciones favorables para el establecimiento de una fauna abundante pero sujetas a procesos de modificación cada vez más creciente.

Zonas de aguas medianamente contaminadas

La figura 7 muestra la estructura de la comunidad béntica de la estación Bonda considerada como una zona de transición entre aguas claras y aguas contaminadas. Se observa que el número de especies se redujo a 32, lo cual equivale a una diversidad intermedia. La familia Chironomidae constituye el grupo de mayor importancia en la comunidad ya que constituye el 52% del total de individuos, seguida por el género *Leptonema* con 12.15% y representan los organismos de mayor adaptación a las condiciones ambientales presentes. En este sistema, la estructura de la comunidad presenta signos evidentes de alteración en su composición. Así, existe un mayor predominio de parte de pocas especies que están repre-

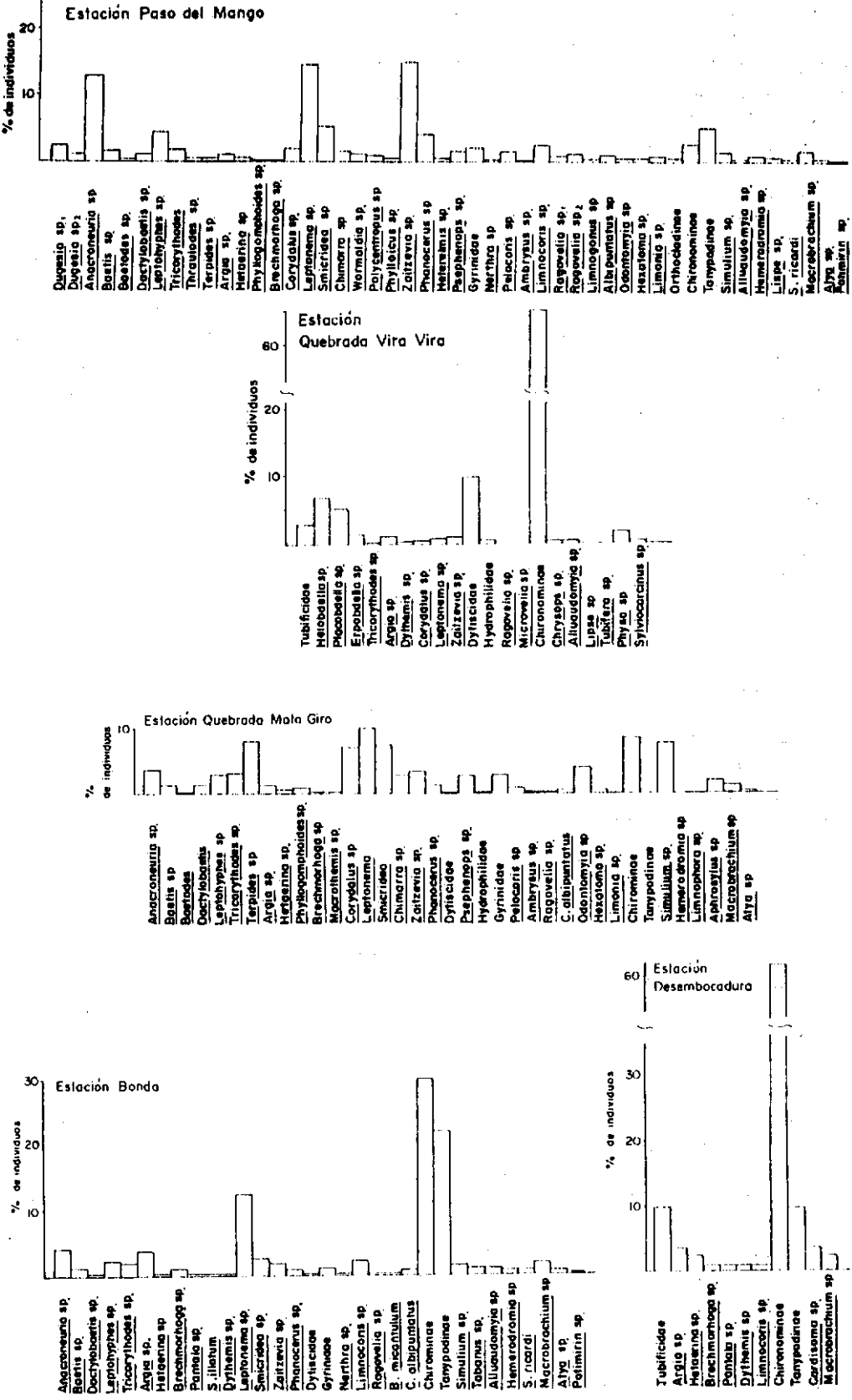


Fig. 7. Estructura de las comunidades macrobentónicas presentes en las estaciones Paso del Mango (PM), quebrada Vira Vira (VV), quebrada Mala Giro (MG), Bonda (B) y Desambocadura (D) localizadas a lo largo del río Manzanares y sus principales afluentes.

sentadas por un gran número de individuos, indicadores de aguas sujetas a una contaminación moderada. Las especies indicadoras de aguas claras presentaron un porcentaje menor, lo cual se debe, además del mediano deterioro de la calidad del agua, a las condiciones poco favorables del sustrato permanentemente alterado por la extracción de arena.

Los dípteros constituyeron el grupo más variado en especies (7) siendo baja la densidad para las especies indicadoras en su mayoría de aguas limpias, tales como las pertenecientes a los géneros *Tabanus* (1.17), *Hemerodromia* (0.78) y *Simulium* (1.56), y alta la densidad para las especies indicadoras de aguas contaminadas, como las de la familia Chironomidae. El grupo de dípteros fue seguido en diversidad por los odonatos (6), efemerópteros (4), coleópteros (4) y hemípteros (4).

Zona de aguas contaminadas

La figura 7 muestra cómo la composición de la comunidad béntica correspondiente a las estaciones Vira Vira y Desembocadura presenta un balance biológico totalmente alterado.

El número de especies se ha reducido drásticamente, encontrándose 21 especies en Vira Vira y 11 en Desembocadura. En ambas la especie de mayor predominio corresponde a la subfamilia Chironominae con un porcentaje mayor al 63%. En Vira Vira es importante registrar la presencia de nuevas especies, no reportadas en las estaciones anteriores, indicadoras de aguas altamente contaminadas, correspondientes a la familia Tubificidae (3.10%), el género *Physa* (1.9%) y los hirudíneos (sanguijuelas) de la familia Glossiphonidae (12.3%) y Erpobdellidae (1.39%). Los grupos taxonómicos que presentaron el mayor número de especies fueron los dípteros (5), los hirudíneos (3) y los coleópteros (3).

En Desembocadura la comunidad béntica presenta el número menor de especies (11) y se encuentra representada principalmente por los organismos de las familias Chironomidae (73.16%) y Tubificidae (9.8%). Se encontró también que los odonatos registran el mayor número de especies (5) lo que indica la presencia de aguas eutróficas cubiertas por abundante vegetación acuática, principalmente del género *Thi-pa*. Durante la época seca, debido a la formación de una barra de arena que impide el intercambio de aguas con el mar, la zona adquiere las características de una laguna y es posible detectar valores de clorofila a superiores a 30 mg/m³. La localización del

sector urbano de la ciudad en el último tramo del río le impide a éste lograr su autodepuración antes de verter sus aguas a la bahía de Santa Marta, con el perjuicio que causa al provocar el deterioro de la calidad del agua utilizada para recreación turística.

Diversidad de especies y su relación con la calidad del agua

La utilidad de los índices de diversidad de las especies para estudiar la calidad del agua se basa en la presunción de que los ecosistemas de aguas limpias poseen valores altos de diversidad en comparación con los ecosistemas contaminados de valores bajos de diversidad. Los valores de diversidad de especies en aguas de corriente varían entre 5 y 0 bits de información. Los valores menores de 1 bit son propios de aguas contaminadas, entre 1 y 3 bits son moderadamente contaminadas y los mayores de 3 bits corresponden a aguas claras (Margalef, 1982). En el presente estudio los valores de diversidad oscilaron entre un máximo de 4.38 en Paso del Mango y un mínimo de 1.94 en Desembocadura (tabla 2).

Al confrontar los valores de diversidad obtenidos en el estudio se observa que Paso del Mango y Mato Giro presentan, en general, las mejores condiciones con aguas de óptima calidad y altos valores de diversidad con 4.38 y 4.29 bits respectivamente. Estas características de aguas limpias concuerda con los números máximos de especies encontradas (48 y 37, respectivamente). En general, estas estaciones, a pesar de la influencia estacional del arrastre de sedimentos y residuos agrícolas, presentan condiciones favorables para el establecimiento y buen desarrollo de las comunidades bénticas, dada su característica de aguas claras, de poca profundidad, buena corriente y un fondo cubierto en su mayor parte por piedras y grava suelta, así como por pedazos de troncos y hojas en descomposición.

La estación Bonda presenta una reducción de la diversidad con un valor de 3.42 bits, característico de aguas sujetas a alteraciones y/o modificaciones temporales que comienzan a provocar cierto deterioro en la calidad del agua y una consecuente reducción del número de especies. Esta situación se produce principalmente como resultado del incremento en las actividades humanas dada la costumbre generalizada de utilizar los ríos como vías de eliminación de todo tipo de desechos y por la degradación mecánica a que es sometido el lecho del río por la extracción permanente de arena para la construcción. Esta última actividad provoca la reducción y modificación

permanente de los hábitats potenciales, lo cual no es muy propicio para el establecimiento de una fauna abundante.

Los índices más bajos de diversidad se encontraron en Vira Vira y Desembocadura con 1.98 y 1.94 bits, respectivamente. La reducción en la diversidad de especies es provocada por el vertimiento continuo de los residuos de mataderos en la quebrada Vira Vira y los desechos domésticos y de basuras procedentes de los barrios del sur de la ciudad. Las condiciones críticas presentes en el agua favorecen el establecimiento de una fauna particular de organismos adaptados a la contaminación. Es el caso de los anélidos de la familia Tubificidae y los dípteros de la subfamilia Chironominae, los cuales presentan una alta concentración de hemoglobina que les permite sobrevivir en condiciones anaeróbicas o de escaso oxígeno. La estación Vira Vira presenta condiciones un poco más alteradas dado que el escaso volumen de agua presente en la quebrada no permite una eficiente dilución y provoca la concentración de las descargas orgánicas. Este efecto se hace más crítico durante los periodos de estiaje, presentándose el déficit casi permanente de oxígeno en el agua.

CONCLUSIONES

El comportamiento de los parámetros hidroquímicos del río Manzanares puede compararse con el de otros sistemas lóticos que hacen parte de la cuenca hidrográfica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Dependen fundamentalmente de la influencia estacional del régimen bimodal de lluvias distribuidas en los dos periodos de lluvia (mayo a junio y septiembre a noviembre) y de los dos periodos de sequía (julio a agosto y diciembre a abril) y reflejan el estado actual de deterioro de las áreas de cuenca que influyen en el sistema.

Algunas variables dependen en gran parte de las características hidrogeológicas de la cuenca. Así lo demuestran los altos valores de la dureza y la alcalinidad total, expresados en la forma de carbonato de calcio, lo que determina su condición de aguas duras.

En general, las aguas del río presentan valores relativamente bajos de oxígeno disuelto, altas concentraciones de nutrientes y de conductividad durante los meses de mayor precipitación y mayor aporte de materia orgánica e inorgánica procedentes de las áreas de cuenca. Sin embargo, los rangos de las variables están dentro de las normas establecidas para el consumo humano y doméstico.

El río Manzanares constituye actualmente un sistema en tensión sometido espacio temporalmente a una permanente variación que provoca cambios en la estructura y la organización de la comunidad de organismos. Así, los valores de diversidad encontrados en cada estación están en relación inversa con el grado de polución presente. Las estaciones Paso del Mango y Mato Giro presentan las mejores condiciones, los más altos índices de diversidad y una estructura más compleja en la cual la mayor parte de los organismos son indicadores de aguas claras y buena oxigenación. La estación Bonda refleja un estado intermedio de deterioro y por ende de valores de diversidad, encontrándose organismos característicos tanto de aguas limpias como de aguas contaminadas. Las estaciones Vira Vira y Desembocadura, de más alta contaminación, presentaron los valores más bajos de diversidad y una estructura simple en donde existe un mayor predominio de parte de pocas especies que están representadas por un gran número de individuos indicadores de un estado de alta contaminación.

El máximo número de especies encontradas fue 48 en Paso del Mango y el mínimo fue 11 en Vira Vira. Se encontró que los dípteros constituyeron el grupo más diverso de especies, indicadoras en su mayoría de aguas claras. Sin embargo, la familia Chironomidae constituye el grupo de mayor importancia en la comunidad ya que representa el más abundante con densidades mayores al 73.16% del total de los individuos.

Recomendaciones

– Extender este tipo de estudios limnológicos a los demás ríos pertenecientes a la cuenca hidrográfica de la Sierra Nevada de Santa Marta con el fin de obtener la información científica adecuada acerca del funcionamiento integral del sistema.

– Estudiar las interacciones existentes entre los diferentes ecosistemas de cuenca (incluyendo los impactos provocados por la actividad cultural) y los sistemas acuáticos con el fin de desarrollar estrategias que permitan su uso múltiple y la prevención y corrección de las alteraciones que produce la eutroficación cultural.

– Construir obras de protección y regulación del caudal del río Manzanares, como es el caso de la canalización del cauce comprendido en el sector urbano de la ciudad.

Tabla 1. Variación mensual de los parámetros fisicoquímicos en las estaciones Paso del Mango (PM), quebrada Vira Vira (VV), quebrada Mato Giro (MG), Bonda (B) y Desembocadura (D) ubicadas a lo largo del río Manzanares y sus principales afluentes (en ppm)

Estación	17 de diciembre/95					6 de febrero/96					30 de abril/96					de 19 de mayo/96				
	PM	VV	MG	B	D	PM	VV	MG	B	D	PM	VV	MG	B	D	PM	VV	MG	B	D
T°C Ambiental	22.20	26.80	27.40	24.40	31.20	23.00	26.00	25.80	30.00	32.00	24.00	25.50	25.50	29.00	31.00	25.00	23.50	24.00	27.00	32.00
T°C H2O	20.60	23.00	23.40	23.60	26.00	20.00	23.40	22.50	26.00	27.00	22.00	24.80	23.80	26.00	26.00	21.30	25.10	24.80	26.00	28.00
pH	7.20	7.30	7.52	7.50	7.13	6.80	6.70	7.05	7.14	7.00	7.01	6.94	7.30	6.99	7.68	7.40	6.90	7.90	6.80	7.29
O2 (mg/l)	8.46	7.54	8.06	7.60	6.97	6.30	5.40	5.90	4.50	4.40	5.80	3.50	5.40	5.20	4.00	5.00	1.30	4.10	3.50	2.00
Alcalinidad CaCO3 (mg/l)	40.00	72.00	72.00	64.00	76.00	64.00	96.00	96.00	84.00	116.00	80.00	172.00	96.00	101.00	1600.00	100.00	316.00	320.00	125.00	380.00
Dureza CaCO3 (mg/l)	52.00	68.00	80.00	80.00	76.00	72.00	100.00	118.00	80.00	100.00	80.00	172.00	360.00	132.00	1100.00	108.00	328.00	208.00	120.00	1000.00
Turbiedad	5.00	6.00	15.00	16.00	26.00	0.00	7.00	0.20	0.00	13.00	5.00	35.00	6.00	8.00	20.00	0.00	0.00	0.00	12.00	5.00
Color (p.p.m. de Pt)	10.00	250.00	20.00	74.00	100.00	0.00	0.00	0.00	25.00	27.00	0.00	140.00	0.00	0.00	70.00	70.00	280.00	53.00	112.00	280.00
Nitrato (l.T.U.)	3.00	4.00	3.50	2.60	3.00	3.20	4.10	3.10	3.40	3.50	3.50	4.40	3.40	3.20	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfato (mg/l)	6.00	7.00	4.00	2.00	7.00	7.50	7.20	5.00	4.00	7.00	3.50	4.00	2.50	2.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fosfato (mg/l)	0.80	1.30	0.70	2.10	0.70	1.00	0.80	0.76	0.62	0.45	1.80	1.32	1.08	1.10	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
Conductividad (µmhos/cm)	100.00	190.00	210.00	180.00	120.00	100.00	250.00	280.00	200.00	320.00	250.00	580.00	300.00	350.00	1500.00	115.00	500.00	300.00	350.00	1800.00
N/P	3.75	3.07	5.00	1.23	4.28	3.20	5.10	4.07	5.48	7.70	1.94	3.30	3.14	2.90	3.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Estación	4 de junio/96					15 de octubre/96					Enero/97					Promedios					
	PM	VV	MG	B	D	PM	VV	MG	B	D	PM	VV	MG	B	D	Norma	PM	VV	MG	B	D
T°C ambiental	25.00	31.00	28.00	29.00	34.00	28.00	29.00	28.00	27.00	31.00	28.00	28.00	28.00	28.40	31.00	25.00	25.00	27.10	26.80	27.80	31.60
T°C H2O	22.40	26.00	25.00	32.00	32.00	21.60	25.30	23.80	26.50	28.00	20.60	24.20	24.00	25.80	26.00	21.20	21.20	24.50	23.90	26.40	27.50
pH	7.00	6.94	7.34	7.30	7.00	6.38	6.27	6.62	6.63	6.48	6.85	6.53	7.16	6.79	6.70	5.8	6.94	6.79	7.18	7.02	7.04
O2 (mg/l)	8.02	4.67	8.12	8.04	9.02	5.96	5.48	5.48	5.46	4.73	6.80	3.80	6.50	5.80	6.20	5	6.62	4.82	6.22	5.72	5.33
Alcalinidad CaCO3(mg/l)	80.00	230.00	120.00	80.00	145.00	40.00	60.00	64.00	60.00	80.00	80.00	112.00	112.00	90.00	128.00	50	63.42	151.14	125.71	84.85	360.71
Dureza CaCO3 (mg/l)	80.00	160.00	120.00	120.00	140.00	40.00	56.00	64.00	64.00	80.00	80.00	90.00	88.00	60.00	108.00	8	70.28	139.14	144.85	93.71	232.71
Turbiedad	2.00	18.00	0.00	0.00	5.00	18.00	325.00	32.00	35.00	78.00	5.00	6.00	10.00	9.00	8.00	8	5.90	56.71	9.02	11.42	22.14
Color (p.p.m. de Pt)	86.00	320.00	55.00	193.00	320.00	55.00	1250.00	64.00	150.00	250.00	2.00	49.00	18.00	26.00	16.00	10	31.85	327.00	30.00	82.85	151.85
Nitrato (l.T.U.)	4.50	4.70	4.80	4.40	4.20	4.50	4.20	3.80	4.00	4.10	5.10	5.00	4.90	4.90	4.90	10	3.40	3.77	3.35	3.21	3.34
Sulfato (mg/l)	1.10	4.00	4.10	4.10	1.20	10.00	9.00	8.80	5.10	4.90	7.50	7.70	8.00	8.60	90.00	50	5.08	5.55	4.62	3.68	4.47
Fosfatos (mg/l)	1.31	1.20	1.01	1.01	1.90	2.10	2.05	2.00	1.90	14.50	4.00	3.80	2.55	2.50	2.25	0.05	1.57	1.49	1.15	1.31	3.01
Conductividad (µmhos/cm)	500.00	850.00	450.00	180.00	420.00	100.00	1850.00	200.00	1550.00	1480.00	100.00	100.00	220.00	190.00	350.00	250	180.00	588.00	280.00	428.00	8.55
N/P	3.43	3.91	4.75	4.35	4.20	2.40	2.04	1.90	2.10	0.27	1.27	1.31	1.92	1.96	2.17						

Tabla 2. Porcentaje de organismos bénticos hallados para cada estación a lo largo del río Manzanares y sus principales afluentes. En cada estación el total es 100%.

Estación	Paso del Mango	Vira Vira	Mato Giro	Bonda	Desembo- cadura
Turbellaria					
Planariidae					
<i>Dugesia</i> sp. 1	(2.49)				
<i>Dugesia</i> sp. 2	(1.16)				
Oligochaeta					
Tubificidae					
<i>Tubifex</i> sp.		(3.10)			(9.75)
Hirudina					
Glossiponidae					
<i>Helobdella</i> sp.		(6.98)			
<i>Placobdella</i> sp.		(5.32)			
Erpobdellidae					
<i>Erpobdella</i> sp.		(1.39)			
Plecoptera					
Perlidae					
<i>Anacroneuria</i> sp.	(12.97)		(3.62)	(4.31)	
Ephemeroptera					
Baetidae					
<i>Baetis</i> sp.	(1.49)		(1.45)	(1.17)	
<i>Baetodes</i> sp.	(0.33)		(0.36)		
<i>Dactylobaetis</i> sp.	(0.99)		(1.45)	(0.39)	
Tricorythidae					
<i>Leptophyphes</i> sp.	(4.49)		(2.89)	(2.35)	
<i>Tricorythodes</i> sp.	(1.83)	(0.15)	(3.26)	(1.96)	
Leptophlebiidae					
<i>Thraulodes</i> sp.	(0.33)				
<i>Terpides</i> sp.	(0.33)		(7.97)		
Odonata					
Coenagrionidae					
<i>Argia</i> sp.	(1.16)	(1.08)	(1.45)	(3.53)	(3.65)
Calopterygidae					
<i>Hetaerina</i> sp.	(0.66)		(0.72)	(0.39)	(2.44)
Comphidae					
<i>Phyllogomphoides</i> sp.	(0.16)		(1.08)		
Libellulidae					
<i>Brechmorhoga</i> sp.	(0.16)		(0.36)	(1.17)	(1.21)
<i>Pantala</i> sp.				(0.39)	(1.21)
<i>Sympetrum illotum</i>				(0.39)	
<i>Macrothemis</i> sp.			(0.36)		
<i>Dythemis</i> sp.				(0.39)	
Megaloptera					
Corydalidae					
<i>Corydalus</i> sp.	(1.83)	(0.46)	(7.24)		
Trichoptera					
Hydropshychidae					
<i>Leptonema</i> sp.	(14.64)	(0.77)	(10.14)	(12.15)	
<i>Smicridea</i> sp.	(5.32)		(7.60)	(2.74)	

Tabla 2 (continuación)

Philopotamidae					
<i>Chimarra</i> sp.	(0.16)		(2.53)		
<i>Wormaldia</i> sp.	(1.33)				
Polycentropodidae					
<i>Polycentropus</i> sp.	(0.83)				
Calomoceratidae					
<i>Phylloicus</i> sp.	(0.49)				
Coleoptera					
Elmidae					
<i>Zaitzevia</i>	(14.97)	(0.93)	(3.62)	(1.56)	
<i>Phanocerus</i>	(4.16)		(1.45)	(0.78)	
<i>Heterelmis</i>	(0.49)	(10.1)	(0.36)	(0.39)	
Dytiscidae	(1.66)		(2.53)		
Psephenidae					
<i>Psephenops</i> sp.		(0.62)	(0.36)		
Hydrophilidae	(2.16)		(3.26)		
Gyrinidae				(1.17)	
Hemiptera					
Gelastocoridae					
<i>Nerthra</i> sp.	(0.16)			(0.39)	
Naucoridae					
<i>Pelocoris</i> sp.	(1.49)		(1.08)		
<i>Ambrysus</i> sp.	(0.16)		(0.36)		
<i>Limnocoris</i> sp.	(2.50)			(2.35)	(1.21)
Veliidae					
<i>Rhagonelia</i> sp. 1	(0.83)	(0.15)		(0.39)	
<i>Rhagonelia</i> sp. 2	(1.33)		(0.36)		
<i>Microvelia</i> sp.		(0.15)			
Gerridae					
<i>Limnogonus</i> sp.	(0.33)				
Belostomatidae					
<i>Belostoma micantulum</i>				(0.39)	
Diptera					
Psychodidae					
<i>Clognia albipuntatus</i>	(7.16)		(0.72)	(0.78)	
Stratiomyidae					
<i>Odontomyia</i> sp.	(0.49)		(4.34)		
Tipulidae					
<i>Hexatoma</i> sp.	(0.49)		(0.76)		
<i>Limonia</i> sp.	(0.66)		(0.36)		
Chironomidae					
Orthocladiinae	(0.49)				
Chironominae	(2.66)	(65.20)	(8.69)	(29.80)	(63.41)
Tanypodinae	(5.15)		(6.16)	(21.96)	(9.75)
Simuliidae					
<i>Simulium</i> sp.	(1.33)		(7.97)	(1.56)	
Tabanidae					
<i>Tabanus</i> sp.				(1.17)	
<i>Chrysops</i> sp.		(0.46)			
Ceratopogonidae					
<i>Alluaudomyia</i> sp.	(0.33)	(0.46)		(1.17)	

Tabla 2 (continuación)

Empididae					
<i>Hemerodromia</i> sp.	(0.83)		(0.36)	(0.78)	
Muscidae					
<i>Lipse</i> sp.	(0.49)	(0.15)			
<i>Limnophora</i> sp.			(0.36)		
Dolichopodidae					
<i>Aphrosylus</i> sp.			(2.17)		
Syrphidae					
<i>Tubifera</i> sp.		(0.15)			
Mollusca					
Physidae					
<i>Physa</i> sp.		(1.86)			
Crustacea					
Reptantia-Brachyura					
Grapsidae					
<i>Sesarma ricardi</i>	(0.33)			(0.78)	
Trichodactylidae					
<i>Sylviocarcinus</i> sp.		(0.46)			
Gecarcinidae					
<i>Cardisoma</i> sp.					(3.65)
Natantia-Caridea					
Palaemonidae					
<i>Macrobrachium</i> sp.	(1.49)		(1.45)	(1.96)	(2.44)
Atyidae					
<i>Atya</i> sp.	(0.33)		(0.72)	(0.78)	
<i>Potimirin</i> sp.	(0.16)			(0.39)	
Número total de individuos	601	644	276	255	82
Número de especies	48	21	37	32	11
Diversidad	4.38	1.98	4.29	3.42	1.94

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los doctores Gustavo Manjarrés y León Pérez y al licenciado Edgar Rivas por su invaluable apoyo y permanente colaboración en las labores de campo; a la Universidad Tecnológica de Magdalena por facilitar el desplazamiento en algunas de las salidas de campo; a mi hermano Juan Escobar Nieves

por la realización de las tablas y figuras; al Servicio Seccional de Salud de Magdalena, en especial a los doctores Hugo Escobar y Antonio Rada por el apoyo prestado en las determinaciones fisicoquímicas; y a cada una de las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Alvarez, L. F. y G. Roldán. 1983. Estudio del orden Hemiptera (Heteroptera) en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actual. Biol.* 12 (44): 31-45.
- Arango, M. C. y G. Roldán. 1983. Odonatos inmaduros del departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actual. Biol.* 12 (46):91-105.
- Bedoya, I. y G. Roldán. 1984. Estudio de los dípteros acuáticos (Diptera) en diferentes pisos altitudinales en el departamento de Antioquia. *Revista Asoc. Colomb. Ci. Biol.* 2 (2):113-134.

- Corporación Autónoma Regional (CAR). 1976. Normas para controlar la calidad de las aguas de uso público y residuales en el área de jurisdicción de la CAR. Acuerdo 09 de 1979. 19 p.
- Correa, M., T. Machado y G. Roldán. 1981. Taxonomía y ecología del orden Trichoptera en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actual. Biol.* 10 (36):35-48.
- Escobar, A. 1981. Estudio de algunos aspectos ecológicos y de la contaminación bacteriana en la bahía de Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado. Univ. de Antioquia. Medellín.
- Espinal, L. y E. Montenegro. 1963. Formaciones vegetales de Colombia. Memorias explicativas sobre el mapa ecológico. Inst. Geog. Agustín Codazzi. Bogotá.
- Margalef, R. 1957. La teoría de la información en ecología. *Mem. Revista Acad. Ci. Artes, Barcelona.* 32 (13): 373-449.
- Margalef, R. 1982. Ecología. Edic. Omega. Barcelona. 951 p.
- Matthias, U. y H. Moreno. 1983. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos en el río Medellín y sus principales afluentes. *Actual. Biol.* 12 (46):106-117.
- Ministerio de Salud. 1984. Disposiciones sanitarias sobre aguas. Decreto 1594 de 1984. 139 p.
- Muñoz, P., M. Bueno y L. Morcada. 1984. Simuliidae (Insecta: Diptera) de Colombia. IV. Clave gráfica para la identificación de los simúlidos de la región de La Calera (Cundinamarca). *Revista Asoc. Colomb. Ci. Biol.* 2 (2):175-186.
- Pérez, C. 1962. Estudio ecológico para el manejo de las cuencas de los ríos Gaira y Manzanares de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Revista Acad.* 6: 1-112.
- Pérez, G. y G. Roldán. 1978. Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del río Rionegro. *Actual. Biol.* 7 (24):27-36.
- Roback, S. y N. Nieser. 1974. Aquatic Hemiptera (Heteroptera) from the Llanos Orientales of Colombia. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.* 126 (4):29-49.
- Roldán, G., J. Builes, J. Trujillo y A. Suárez. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Actual. Biol.* 2 (5):54-64.
- Roldán, G. 1980. Estudios limnológicos de los cuatro ecosistemas neotropicales diferentes con especial referencia a su fauna de efemerópteros. *Actual. Biol.* 9 (34):103-117.
- , 1985. Contribución al conocimiento de las ninfas de efemerópteros (Clase: Insecta, Orden: Ephemeroptera) en el departamento de Antioquia. *Actual. Biol.* 14 (51):3-13.