

## Y DOMESTICA SOBRE LA FAUNA BENTICA

## DEL RIO MEDELLIN

Por: G. Roldán (1), J. Builes (2), C. M. Trujillo (3) y  
A. Suárez (4).

## RESUMEN

*Los ecosistemas acuáticos naturales se caracterizan por poseer pocas especies con muchos individuos o muchas especies con pocos individuos por especie. Cuando una condición desfavorable, tal como la contaminación, se hace presente, se manifiestan cambios detectables en la estructura de la comunidad biótica. Para detectar cuáles han sido los cambios que se han operado en el Río Medellín, debido a la contaminación industrial y doméstica, se establecieron siete estaciones desde Primavera hasta El Pescador y se hicieron en cada una de ellas durante un año mediciones bimensuales fisicoquímicas y biológicas. El estudio fisicoquímico se hizo con la ayuda de un Colorímetro Hach y el biológico se llevó a cabo mediante el análisis de las comunidades de macroinvertebrados que habitan en el fondo del Río. Durante el estudio se pudo comprobar como a medida que las condiciones de contaminación se iban haciendo más drásticas, la diversidad de especies comenzaba a disminuir, hasta llegar al punto de aparecer una nueva comunidad propia de aguas contaminadas.*

## INTRODUCCION

El estudio físico-químico y biológico del agua corresponde al campo de la ecología, (del griego *Oikos* = casa, lugar), ciencia que estudia los seres vivos y su relación con el medio ambiente. La ecología acuática se divide a su vez en dos grandes áreas, a saber: ecología marina que estudia la vida en los océanos y la ecología de agua dulce que estudia la vida en los ríos y lagunas, llamados a menudo éstos últimos aguas continentales. En su apreciación más particular, el estudio de las características de las aguas continentales, las fuerzas y procesos que mantienen su integridad y la relación entre el medio abiótico y las comunidades que en él viven recibe el nombre de *limnología*. Un estudio limnológico de un ecosistema acuático busca qué tipo de organismos viven en un determinado medio y a qué condiciones físicas y químicas están adaptados.

Por su parte, un ecosistema es una unidad material en la cual los factores bióticos y abióticos interactúan para producir un intercambio de materiales. La interacción de los elementos bióticos entre sí conforma una constitución característica de los organismos que se conoce como *estructura*

*de la comunidad*. Las comunidades naturales se caracterizan por la presencia de pocas especies con muchos individuos y muchas especies con pocos individuos. Una alteración de los ecosistemas acuáticos producida, por ejemplo, por contaminación, trae como consecuencia cambios detectables en la estructura de la comunidad (William, 1968). Estudios realizados en diferentes ríos han demostrado como en tales condiciones, algunas especies desaparecen o se reducen en su número, en tanto que otras aumentan considerablemente.

Las comunidades bióticas presentan grandes diferencias en su estructura a medida que las condiciones del río van cambiando debido a las fuentes de contaminación.

Para evaluar las condiciones de un río contaminado se usa a menudo el estudio de la estructura de las comunidades benticas. Debido a que estos organismos permanecen adheridos a rocas, troncos o enterrados en el fondo, constituyen un buen indicador de contaminación, ya que a lo largo de un período de tiempo dado están soportando los diferentes cambios que ocurren en el agua.

(1) Director Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia

(2) Profesor, id.

(3) Profesor, id.

(4) Profesor, id.

En Colombia, el interés por la contaminación ha ido creciendo enormemente en los últimos años.

Los trabajos presentados en el Primer "Foro Nacional sobre el Medio Ambiente" realizado en Bogotá en diciembre de 1972, son una buena referencia acerca del estado en que se encuentra este campo de la investigación en Colombia. En el Río Medellín se han realizado varios trabajos tendientes a establecer el estado en que se encuentran sus aguas. Bunker (1931) en un trabajo "Sobre el aprovechamiento del Río Medellín para abastecimiento de agua de la ciudad de Medellín" debido al gran número de bacterias encontradas, califica la contaminación como extremadamente alta. Desafortunadamente sus recomendaciones no se tuvieron en cuenta. Posteriormente Tejada (1944) llevó a cabo un estudio relativo a la contaminación del Río debido a las aguas negras provenientes de la ciudad. Este trabajo estaba principalmente orientado a proponer un sistema de colectores y una planta de tratamiento de las aguas negras del municipio.

A diferencia de los anteriores estudios, el presente trabajo tiene como objetivo primordial demostrar como la contaminación de origen industrial y doméstico ha ido reduciendo lentamente la diversidad de la fauna en el Río Medellín, hasta hacer desaparecer totalmente las comunidades primitivas y reemplazarlas por otras propias de aguas contaminadas.

Esperamos que este trabajo sirva de base para que en otras zonas del país que se hallan en vía de desarrollo se tomen rápidamente medidas preventivas para evitar problemas ecológicos como los que aquí se describen.

## DESCRIPCIÓN DEL AREA

La figura 1 muestra en forma simplificada la Hoya del Río Medellín y algunos de sus principales afluentes. La región estudiada se extiende desde el sitio conocido como Primavera hasta El Pescador, un sitio un poco más abajo de Barbosa. Se seleccionó a Primavera como primera estación de muestreo ya que allí las mediciones físico-químicas y biológicas iniciales correspondían a aguas poco o no contaminadas. De la misma manera El Pescador se seleccionó como última estación, ya que allí se encontró una marcada recuperación del Río a su estado inicial. El tramo del Río estudiado entre estos dos puntos es de aproximadamente 85 km. Un poco abajo de Caldas se estableció una segunda estación en el parque Ancón. La tercera estación se localizó en la desembocadura de la quebrada Doña María. La cuarta estación quedó en frente de Proleche. La quinta en el puente de Machado y la sexta en sitio conocido como Hatillo.

En la actualidad tanto el Río Medellín como sus tributarios son utilizados para arrojar todos los desechos industriales y domésticos de los municipios de Caldas, La Estrella, Itagüí, Envigado, San Antonio de Prado, Medellín, Bello, Copacabana y Barbosa. Entre los residuos industriales vertidos al Río Medellín y sus tributarios se cuentan de: siderúrgicas, metalmeccánicas, textiles, pinturas, productos farmacéu-

ticos, curtimbres, ácido sulfúrico, abonos, jabones, cigarrillos, licores, cerveza, productos alimenticios, mataderos y muchos más; sin contar con las basuras que se arrojan directamente al Río. Entre Doña María y Bello el Río cruza por la zona urbana más densamente poblada de la ciudad.

## MATERIALES Y METODOS

Cada estación fue muestreada dos veces por mes entre noviembre de 1971 y noviembre de 1972. En cada una de ellas se midieron los siguientes parámetros:

- A. *Físicoquímicos.* La temperatura se midió con un termómetro YSI, Modelo 42SC. La conductividad con un conductímetro Hach 2.200 accionado por baterías. El color, el pH, la turbiedad, el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, los nitratos, fosfatos, sulfatos (y en ocasiones otros iones) se midieron con un colorímetro Hach Modelo DR-EL.
- B. *Biológicos.* El estudio se restringió únicamente a los organismos bentónicos, ya que éstos por vivir adheridos al fondo o pegados a las rocas, constituyen un buen índice de la calidad del agua. Debido a que gran parte del Río corre por un lecho pedregoso, para el análisis de los organismos bastaba con levantar las piedras y con la ayuda de unas pinzas se tomaban los organismos que se encontraban por debajo de ellas. Los organismos colectados se conservaban en pequeños frascos con alcohol al 70o/o para posterior análisis en el laboratorio.

Fuera de su identificación, (la cual en muchos casos fue difícil llegar, siquiera hasta género, por la falta de claves para este tipo de organismos en el trópico,) lo más importante era establecer la diversidad de organismos encontrada en cada estación. Para ello se contaba el número de especies y el número de individuos por especie, colectados en cada estación. Margalef (1956) propuso el estudio de "poblaciones mezcladas" mediante métodos derivados de la teoría de la información. La diversidad es igual a la incertidumbre que existe respecto a la especie de un individuo seleccionado al azar de una población. Mientras más especies estén presentes en una comunidad y en una proporción que se acerque a la igualdad, mayor será la incertidumbre y por lo tanto, mayor la diversidad. El contenido de la información es una medida de la incertidumbre y por lo tanto una medida razonable de la diversidad.

La fórmula dada por Brillouin (1960), como medida de diversidad (o información) por individuo es:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} (\log N! - \sum_{i=1}^s \text{Log } N_i)$$

Suponiendo valores relativamente grandes de N y N<sub>i</sub> se llega a la fórmula propuesta por Stirling:

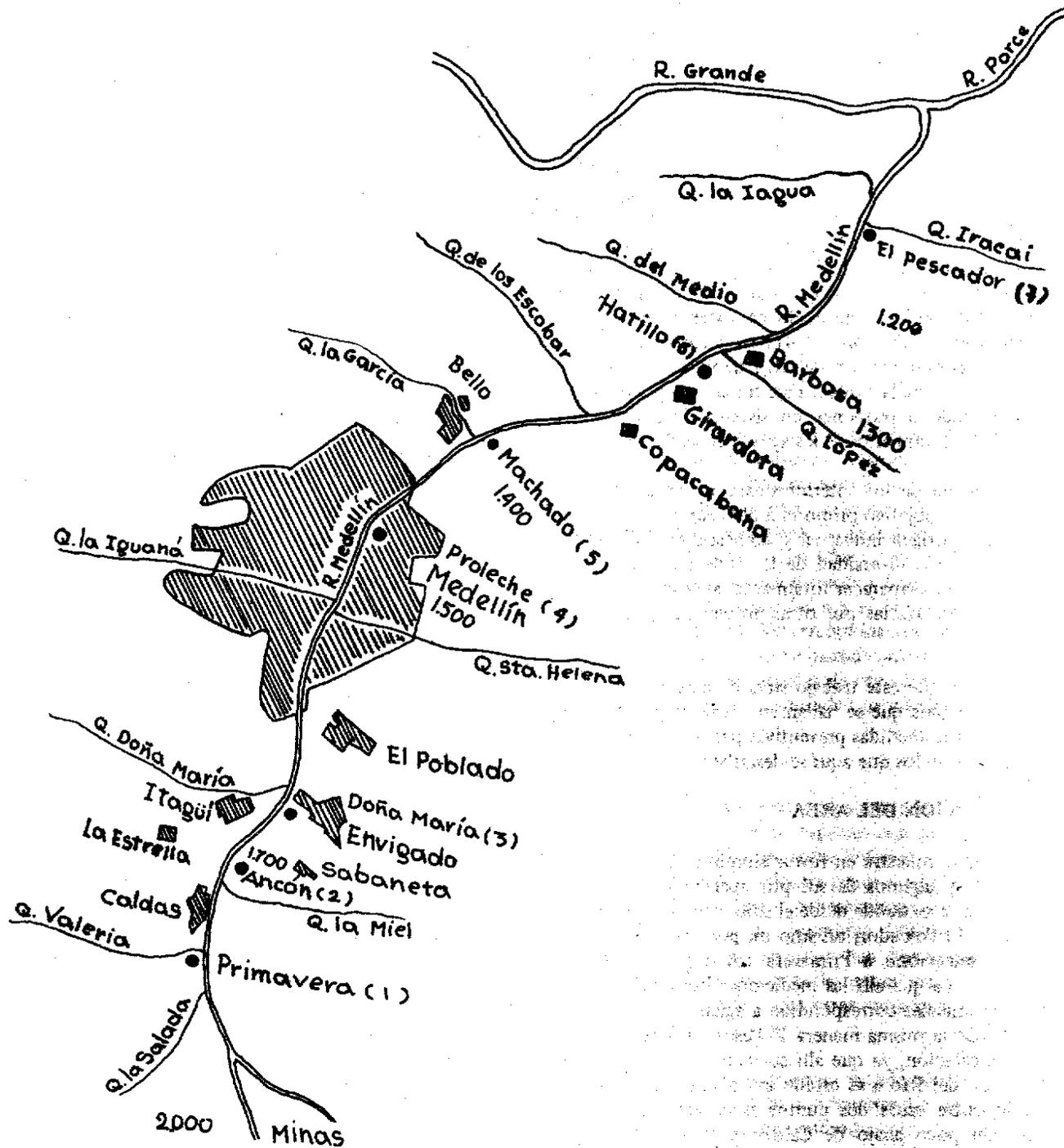


Fig. 1 - Hoya del río Medellín, algunos de sus afluentes y zonas urbanas aledañas. Los puntos negros indican las estaciones de muestreo.

$$\bar{H} = - \sum \left( \frac{N_i}{N} \right) \text{Log}_2 \left( \frac{N_i}{N} \right)$$

La razón de población  $\frac{N_i}{N}$  se estima de los valores de muestreo  $\left( \frac{n_i}{n} \right)$ , para llevarnos a la ecuación:

$$\bar{d} = - \sum \left( \frac{n_i}{n} \right) \log_2 \left( \frac{n_i}{n} \right)$$

donde,

$\bar{d}$  = diversidad

$n_i$  = número de individuos por especie

$n$  = número total de individuos

Se ha encontrado que los valores para  $d$ , varían desde 0,0 hasta 5,0, siendo 0,0 la mínima diversidad y 5,0 la máxima (Wilhm, 1968).

Valores menores de 1,0 son propios de aguas muy contaminadas, entre 1,0 y 3,0 moderadamente contaminadas y valores mayores de 3,0 corresponden a aguas claras. Existe, pues, una diversidad *mínima* si todos los individuos pertenecen a una misma especie y una diversidad *máxima* si cada individuo pertenece a una especie diferente.

## RESULTADOS

### A. Físicoquímicos

Las figuras 2–13 representan gráficamente las variaciones máximas y mínimas de los distintos valores físicoquímicos medidos a lo largo del Río Medellín. Las líneas punteadas unen dichos valores, en tanto que la línea continua representa la primera medición realizada.

La figura 2 muestra como la turbiedad va aumentando progresivamente a lo largo del Río. Los picos altos de las dos últimas estaciones se deben a que por la época de este estudio se estaba trabajando en la ampliación de la carretera a Porce y la tierra removida era echada directamente al Río.

La figura 3 muestra como en tres de las estaciones el oxígeno disuelto llegó a valores de cero. Esta zona correspondió a la de más alto índice de contaminación.

En la figura 4 se nota igualmente como el dióxido de carbono sufrió fuertes variaciones y tuvo valores relativamente altos en la zona de mayor contaminación.

La figura 5 muestra como la variación del pH fue especialmente grande al paso del casco urbano.

En la figura 6 se puede apreciar el comportamiento del pH y el CO<sub>2</sub>. Los valores van paralelos hasta Doña María, pero desde allí hasta Hatillo se invierten. La curva se ha hecho con base a valores promedios.

En la figura 7 se puede observar como la alcalinidad que comienza relativamente baja y sin muchas variaciones, va aumentando progresivamente y sufriendo fuertes variaciones.

La figura 8 muestra como los sulfatos presentan picos elevados en las últimas estaciones. Estos valores pueden deberse posiblemente a situaciones ocasionales del Río, ya que es bien sabido que las distintas factorías no vierten al Río continuamente la misma cantidad de residuos.

La figura 9 muestra como los nitratos van también aumentando, lo que es muy explicable si se considera su aumento debido principalmente a la descomposición de la enorme cantidad de materia orgánica que cae al Río.

La figura 10 presenta un comportamiento muy particular de los fosfatos. Especialmente en la estación de Doña María se detectaron en varias ocasiones hasta 4,7 ppm. Estas fuertes variaciones se deben sin duda alguna a la desembocadura de la Quebrada Doña María que trae consigo residuos de Itagüí, zona altamente industrializada.

La figura 11, muestra la variación del hierro a lo largo de todas las estaciones, el cual, al igual que los demás iones, muestra aumento y variación entre Doña María y Machado fundamentalmente.

La figura 12 muestra como la temperatura va subiendo a medida que el Río comienza a descender de Caldas. En el presente estudio no se detectaron cambios en la temperatura debido a la actividad humana.

Por último, la figura 13, muestra una correlación de como la conductividad fue más alta en la zona donde hubo un mayor incremento de iones bajando el índice de diversidad de especies a 0,0.

En todas las figuras anteriores notamos cómo la baja variación en valores es característica de zonas no contaminadas o en vía de recuperación, en cambio es muy grande en zonas fuertemente contaminadas.

### B. Biológicos

Las figuras 14 a 19, muestran la estructura de la comunidad béntica en cada una de las siete estaciones estudiadas. El porcentaje corresponde al número total de individuos colectados durante todo el tiempo de estudio.

La figura 14 muestra la composición de la comunidad béntica en la Estación de Primavera. Se pudo establecer la presencia de 14 especies diferentes la mayoría de las cuales se encontraron en proporciones mas o menos iguales. Es de anotar sin embargo, que el 58.70/o estaba representado por *Leuctra* sp; especie indicadora de aguas claras. *Heptagenia* sp. ocupó el segundo lugar 16.60/o del total de especies recolectadas, siendo ésta también indicadora de aguas limpias y bien oxigenadas. La presencia de *Chironomus* sp. indica que por lo menos un mínimo de contaminación está llegando al Río a este nivel.

La figura 15 muestra la estructura de la comunidad béntica en la Estación de Ancón. Aquí el número de especies se ha reducido a 10. *Leuctra* sp. comienza a disminuir hasta 44.10/o, en tanto que *Chironomus* sp. y *Physa* sp. comienza a aumentar hasta representar 14.50/o y 12.00/o respectivamente. Precisamente *Chironomus* sp. es un indicador de aguas contaminadas.

La figura 16 muestra como la estructura de la comunidad béntica en la Estación de Doña María se ha reducido a sólo cuatro especies, de las cuales *Chironomus* sp. representa el 84.50/o. *Physa* sp. es la segunda especie en importancia representando el 14.20/o del total de individuos.

La figura 17 muestra como la estructura de la comunidad béntica de la Estación de Proleche ha cambiado drásticamente en su composición. La especie dominante, *Tubifex* sp. 88.60/o, no habría sido reportada anteriormente. *Chironomus* sp. la segunda especie en importancia, se ha reducido drásticamente.

La figura 18 muestra la estructura de la comunidad béntica en las estaciones de Machado y Hatillo. Aquí la comunidad está representada por una sola especie, *Tubifex* sp., indicadora de aguas extremadamente contaminadas. Es de anotar que en estas estaciones el número de *Tubifex* sp. se calculó entre 8.000 y 10.000 individuos por m<sup>2</sup>.

Por último la figura 19 muestra como en la Estación de El Pescador la comunidad béntica comienza a recuperarse. *Chironomus* sp. representa el 42.50/o y las sanguijuelas el 34.90/o. Las especies propias de aguas limpias como *Leuctra* sp. *Heptagenia* sp. apenas comienzan a aparecer de nuevo. Es de anotar que sólo aquí se encuentra por primera vez una larva de *Libellula* sp.

## CONCLUSIONES Y DISCUSION

Los resultados anteriores nos muestran como la contaminación trae cambios en la estructura de la comunidad acuática. De hecho, el índice de diversidad de especies que era relativamente alto a nivel de Primavera, fue reduciéndose

drásticamente hasta llegar a 0.0 en las estaciones de Machado y Hatillo. Aquí la población de macroinvertebrados fue reemplazada totalmente por una nueva especie, *Tubifex* sp., que no había sido reportada en las tres primeras estaciones. La presencia de este organismo en aguas muy contaminadas, coincide con su hallazgo en medios semejantes de otros lugares y otras latitudes, donde se han realizado trabajos similares (Odum, 1972; Reid, 1966).

Un hecho importante es el de que la diversidad de especies comienza a reducirse a medida que los factores físico-químicos comienzan a sufrir fuertes variaciones. Nótese como en la Estación de Primavera, que se puede considerar como ecológicamente estable, la variación en los factores físicos y químicos fue prácticamente mínima a lo largo de todo el estudio.

Otro hecho importante encontrado es el de que el efecto que la contaminación produce sobre la fauna béntica, o sea, la reducción de especies a 0.0, no se presentó en el casco urbano, sino en las estaciones que se localizan un poco más abajo de la fuente de contaminación. Este es un hecho de suma importancia en legislación sobre esta materia, ya que los residuos que una fábrica o una ciudad arrojan a un río, pueden afectar más seriamente los intereses de sus vecinos más que los suyos propios.

Con base a lo anterior, se pueden utilizar los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Así, para adquirir una idea general acerca del estado de contaminación de un río, los efemerópteros, los plecópteros y los tricópteros nos hablarán de aguas claras y oxigenadas, algunos caracoles y larvas de dipteros nos dirán de aguas medianamente contaminadas y los anélidos de aguas muy contaminadas. Obviamente que estos grupos de organismos deben ser los que dominan ampliamente en la población.

En resumen, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. Hay mayor diversidad de especies donde el rango de fluctuación de los parámetros fisicoquímicos es menor y viceversa.
2. El índice de diversidad de especies es inverso a la conductividad, por lo que este último parámetro nos puede decir mucho acerca de la calidad de agua.
3. Ciertas especies de plecópteros y efemerópteros nos dan un índice de aguas claras, en cambio los anélidos de aguas contaminadas.
4. El Río sólo comienza a mostrar síntomas de recuperación a unos 60 km fuera de la ciudad, lo que indica las complicaciones que la contaminación trae sobre una comunidad, no sólo de orden ecológico sino también legal.
5. La rápida caída que el Río sufre en Barbosa y El Pescador puede ser un factor de suma importancia en la recuperación del mismo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo pudo realizarse gracias a la ayuda de la Fundación Forge de los Estados Unidos, quien donó los dineros suficientes para la compra de equipos reactivos y gastos de desplazamiento de todo el personal que colaboró en esta investigación. Igualmente se da especial mención de agradecimiento a Landers Mora de Medellín, quien ayudó en co-

laboración con la Forge en la consecución de parte del equipo de laboratorio. Se dan también los agradecimientos a los estudiantes Alfredo Flórez, Alberto Urán, Jorge Jaramillo y Darío Agudelo quienes con su pronta ayuda, facilitaron grandemente las labores de muestreo y posterior proceso de las mismas en el laboratorio. Y finalmente al Departamento de Matemáticas quien nos asistió en la elaboración de los cálculos a través de un programa de computador.

## BIBLIOGRAFIA

- Brillouin, L. *Science and Information Theory*. New York. Academic Press, 1962. 651 p.
- Bunker, G. *Informe sobre el Aprovechamiento del Río Medellín para el Abastecimiento de Agua de la Ciudad de Medellín*. Medellín, Empresas Públicas Municipales, 1931. 59 p.
- Margalef, R. "Información y Diversidad Especifica en las Comunidades de Organismos". *Inv. Pesq.* 3:99-106, 1956.
- Odum, E. *Ecología*. México, Editorial Interamericana, S. A. 1972. 639 p.
- Pennak, R. *Fresh-Water Invertebrates of the United States*. New York, Ronald Press, Co., 1953. 769 p.
- Ransom, J. *Community Structure of Benthic Macroinvertebrates and Related Physicochemical Conditions in Keystone Reservoir, Oklahoma*. Tesis de Doctorado, Oklahoma State University, Stillwater, 1969.
- Reid, G. *Ecology of Inland Waters and Estuaries*. New York, Reinhold Publ. Corporation, 1966. 375 p.
- Tejada, J. *Estudio Preliminar del Sistema de Colectores para Medellín*. Tesis de Grado, Facultad Nacional de Minas, Medellín, 1944. 92 p.
- Universidad de los Andes. *Primer Foro Nacional sobre el Medio Ambiente, Conferencias, Discusiones y Proposiciones*. Bogotá, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, 1971. 435 p.
- Wilhm, J. and C. Dorris. "Biological Parameters for Water Quality Criteria". *Bios.* 18(6): 477-480, Jun'68.
- Wilhm, J. and C. Dorris. "Species Diversity of Benthic Macroinvertebrates in a Stream Receiving Domestic and Oil Refinery Effluents". *Am. Midl. Nat.* 76:427-449, 1966.

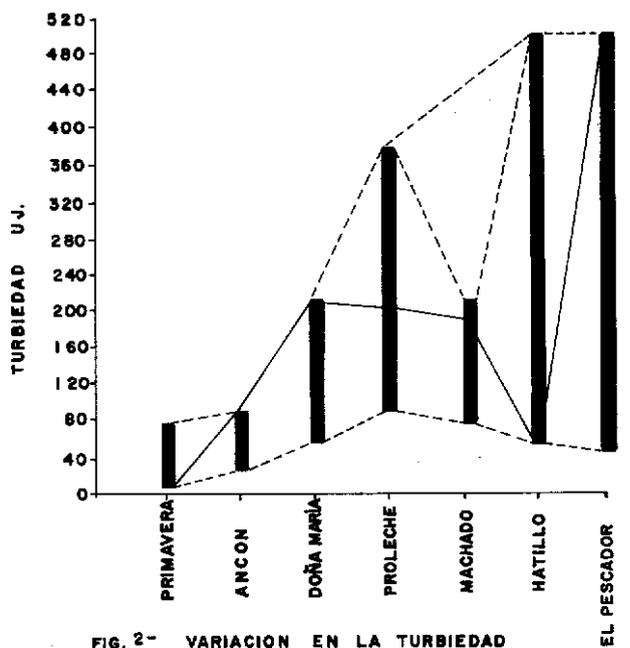


FIG. 2- VARIACION EN LA TURBIEDAD

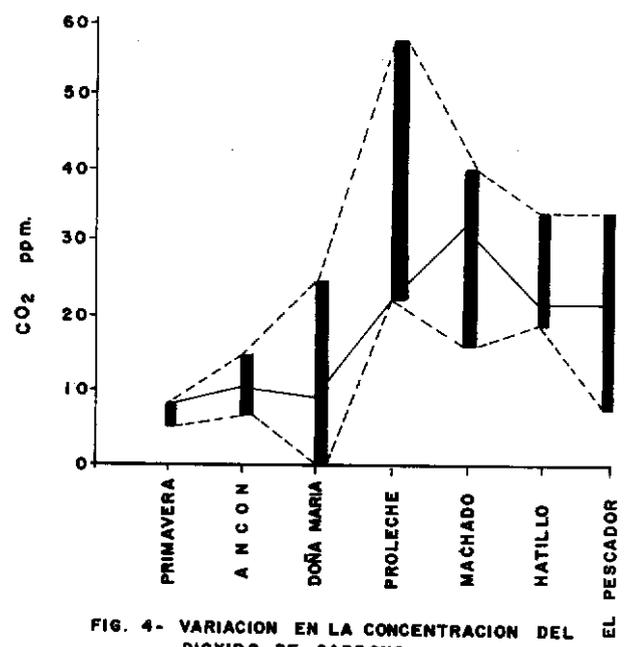


FIG. 4- VARIACION EN LA CONCENTRACION DEL DIOXIDO DE CARBONO

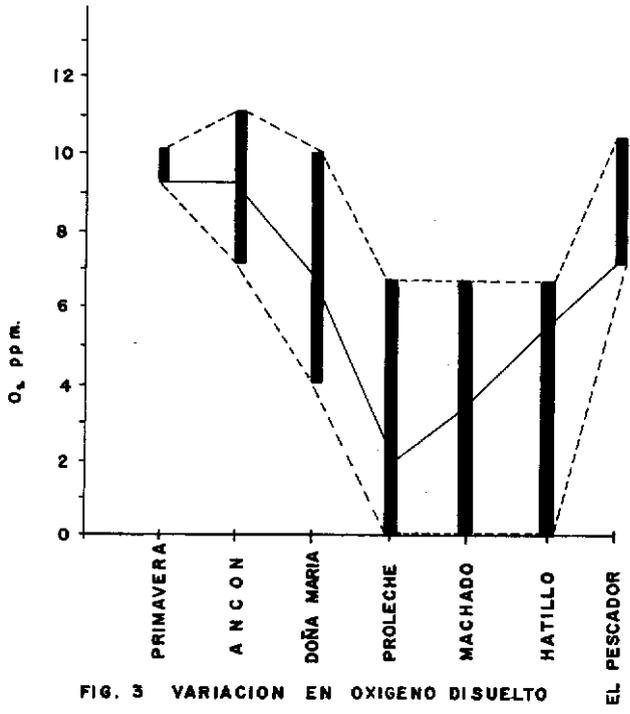


FIG. 3 VARIACION EN OXIGENO DISUELTO

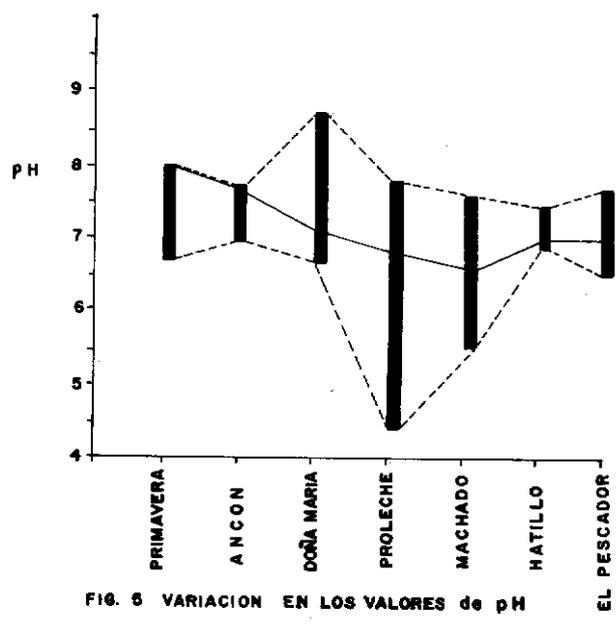


FIG. 5 VARIACION EN LOS VALORES de pH

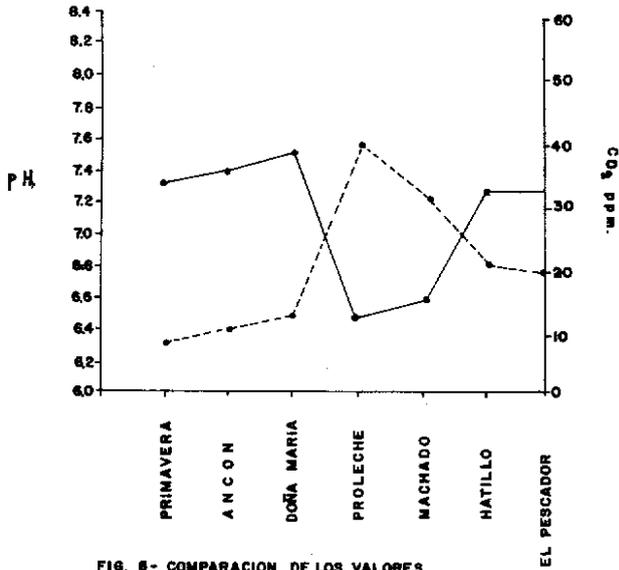


FIG. 6- COMPARACION DE LOS VALORES PROMEDIO DEL pH Y CO<sub>2</sub> (— pH, CO<sub>2</sub> - - -)

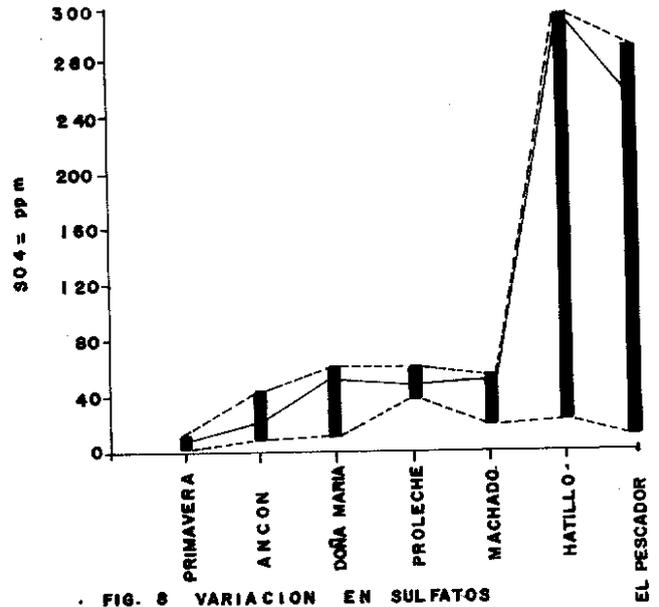


FIG. 8 VARIACION EN SULFATOS

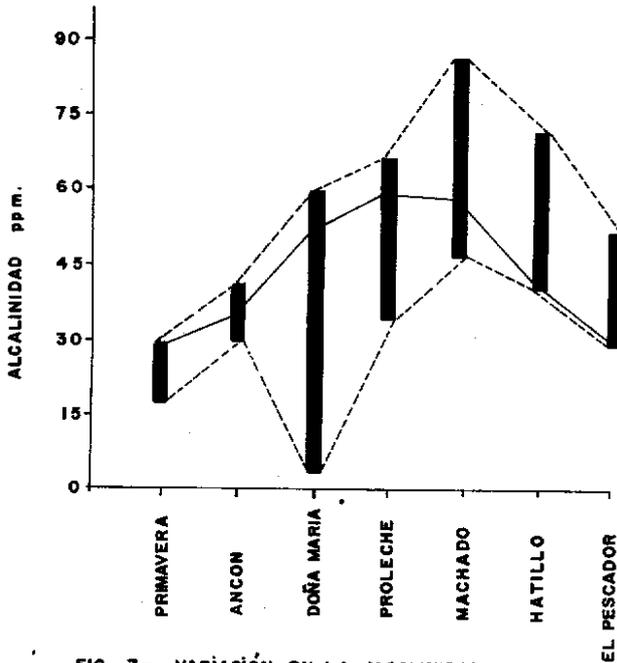


FIG. 7- VARIACION EN LA ALCALINIDAD

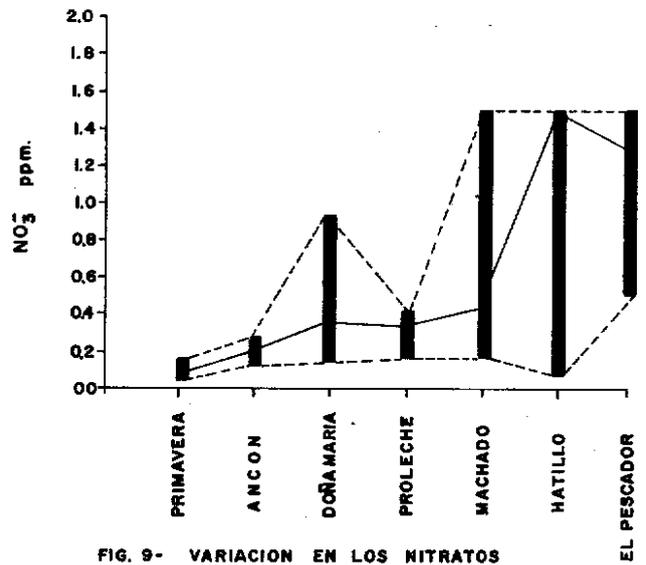


FIG. 9- VARIACION EN LOS NITRATOS

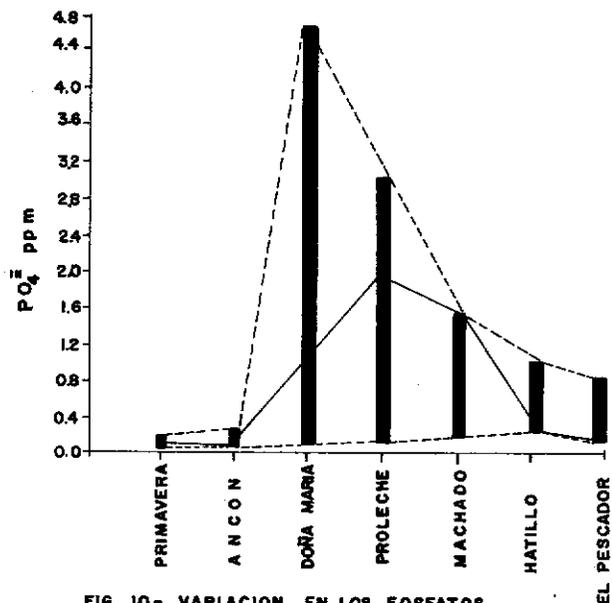


FIG. 10- VARIACION EN LOS FOSFATOS

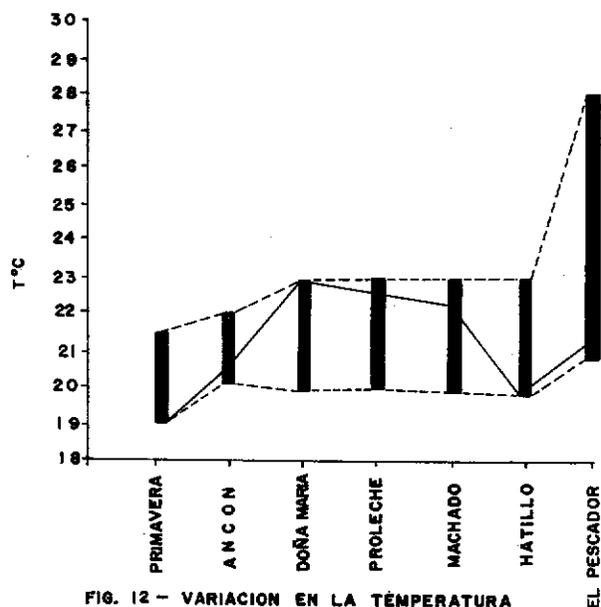


FIG. 12 - VARIACION EN LA TEMPERATURA

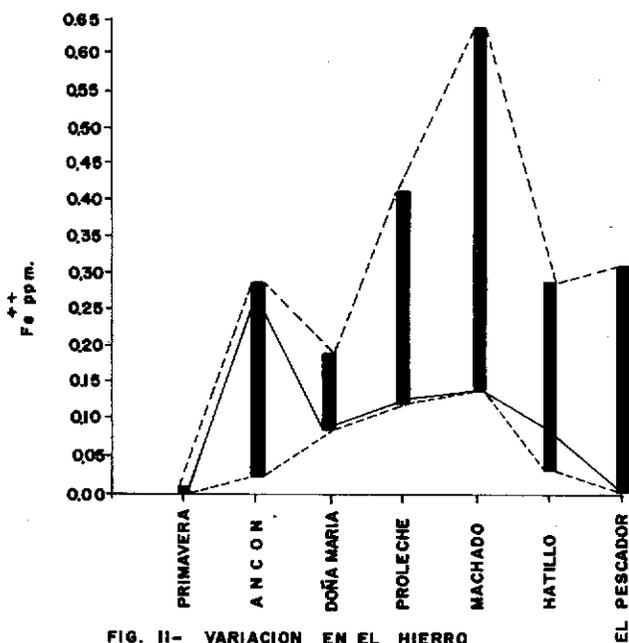


FIG. 11- VARIACION EN EL HIERRO

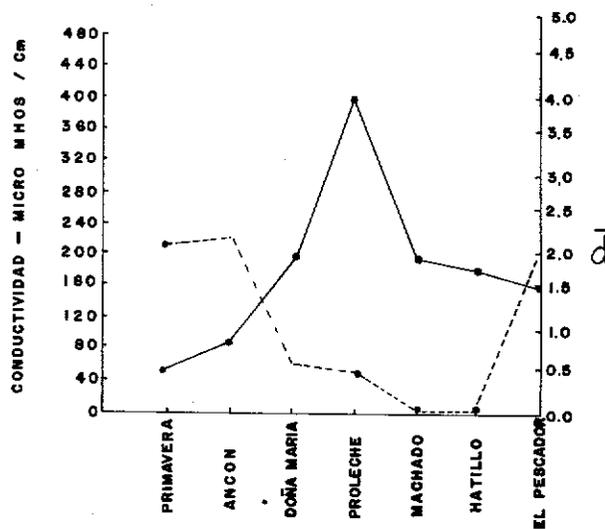


FIG. 13. VARIACION EN LA CONDUCTIVIDAD VS. DIVERSIDAD DE ESPECIES A LO LARGO DEL RIO MEDELLIN ( — CONDUCTIVIDAD, - - - DIVERSIDAD ).

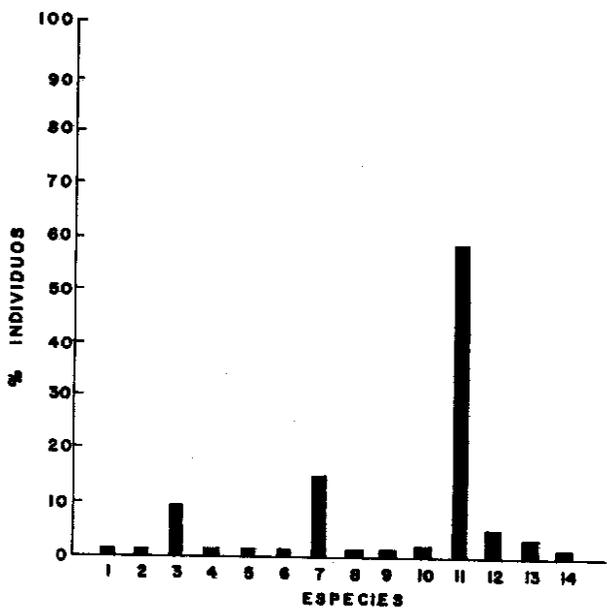


Figura 14. Estación de Primavera: Estructura de la comunidad béntica.

1. Acaro de agua, 2. *Bibiocephala* sp., 3. *Chironomus* sp., 4. *Dugesia* sp., 5. *Helicopsyche* sp., 6. Hemiptera, 7. *Heptagenia* sp., 8. Larva de coleóptero "a", 9. Larva de coleóptero "b", 10. *Leptocella* sp., 11. *Leuctra* sp., 12. *Molanna* sp., 13. *Physa* sp., 14. *Simulium* sp.

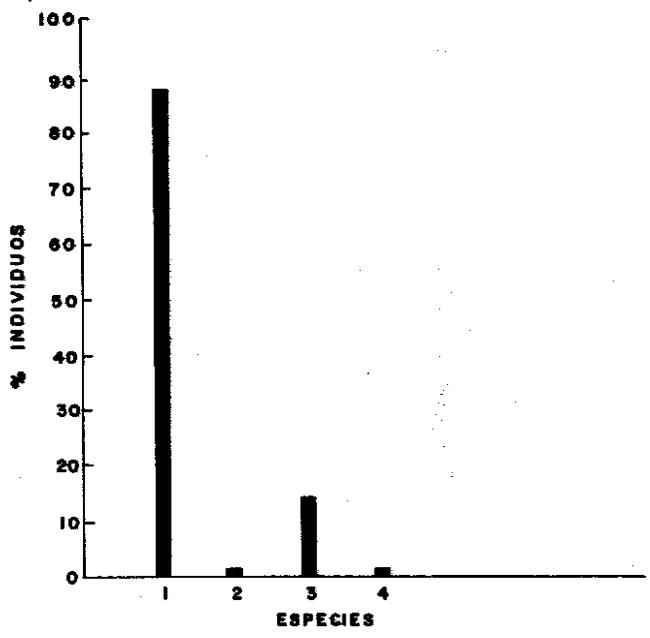


Figura 16. Estación de Doña María: Estructura de la comunidad béntica.

1. *Chironomus* sp. 2a. Larva de coleóptero "b", 3. *Physa* sp. 4. Sanguijuela.

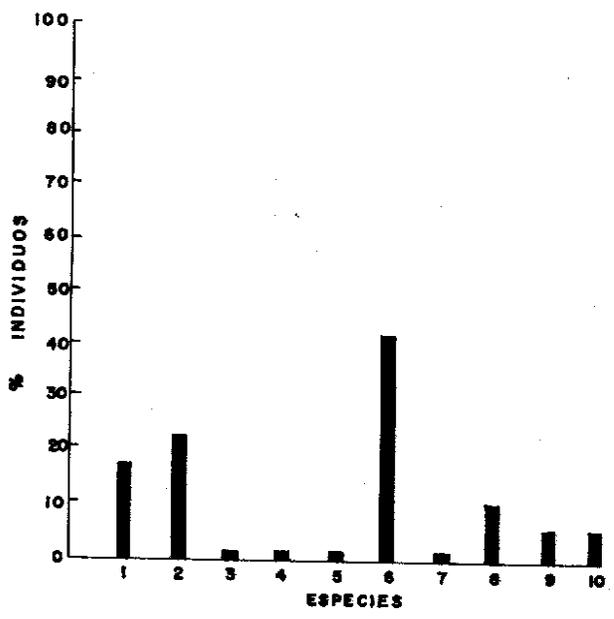


Figura 15. Estación de Ancón: Estructura de la comunidad béntica.

1. *Chironomus* sp., 2. *Heptagenia* sp., 3. *Hydropsyche* 4. Larva de coleóptero "b", 5. *Leptocella* sp. 6. *Leuctra* sp. 7. *Molanna* sp. 8. *Physa* sp., 9. *Rhaphidolabis* sp., 10. Sanguijuela.

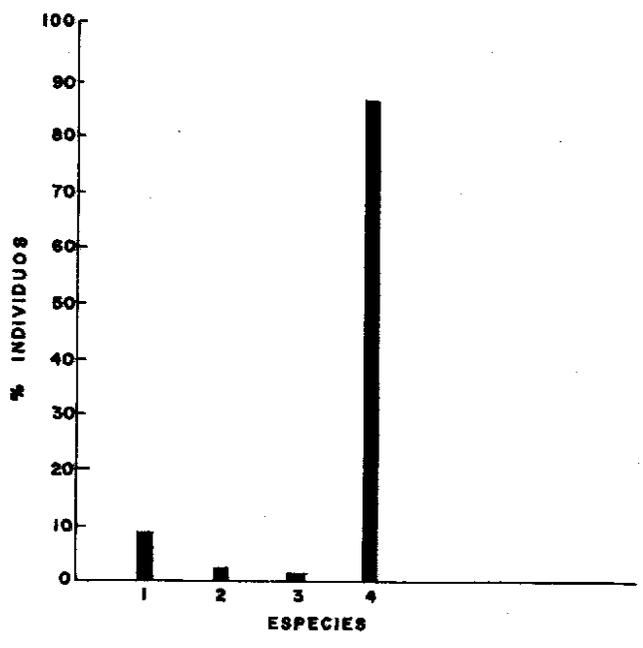


Figura 17. Estación de Proleche: Estructura de la comunidad béntica.

1. *Chironomus* sp., 2. *Physa* sp. 3. Sanguijuela, 4. *Tubifex* sp.

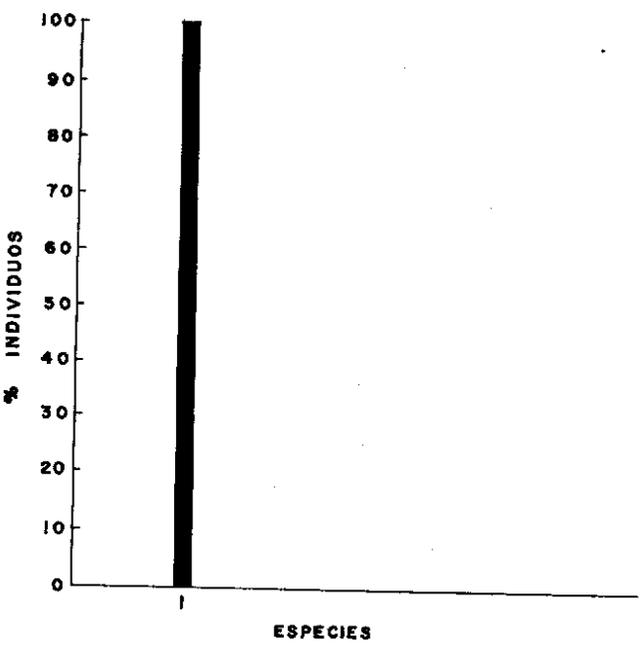


Figura 18. Estaciones de Machado y Hatillo: Estructura de la comunidad béntica.  
1. *Tubifex* sp.

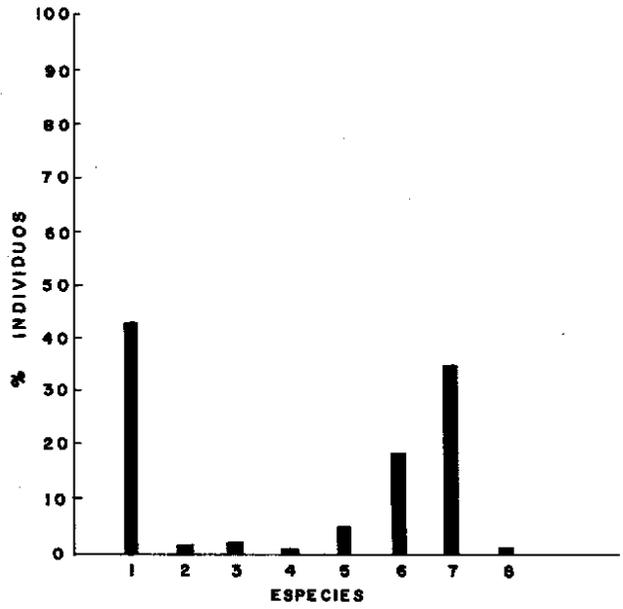


Figura 19. Estación de El Pescador: Estructura de la comunidad béntica.  
1. *Chironomus* sp., 2. *Heptagenia* sp., 3. Larva de colcóptero "h", 4. *Tubellula* sp., 5. *Leuctra* sp., 6. *Dhys* sp., 7. *Singuijuela*, 8. *Tubifex* sp.