

ESTUDIO DE ALGUNOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL RÍO MEDELLÍN Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES

Uwe Matthias*
Humberto Moreno**

RESUMEN

Para el presente estudio fue analizado el río Medellín entre los meses de marzo a septiembre de 1988 en un trayecto aproximado de 100 km a partir de su nacimiento hasta unos pocos kilómetros antes de su desembocadura. En este trayecto se eligieron ocho estaciones de muestreo; además se muestrearon ocho de sus principales afluentes, tanto por su caudal como por el volumen de descargas que aportan al río. Para cada una de estas estaciones y afluentes, se determinaron trece parámetros físico-químicos. Se tomaron muestras bénticas con el fin de medir la calidad biológica del agua por medio del índice de diversidad propuesto por Shannon (1948). Dentro del perímetro urbano de la ciudad, concretamente en el centro de ella, en donde existe una alta contaminación, se efectuaron veinticuatro mediciones semanales. Al final del texto se hace una breve discusión sobre la calidad del agua en términos físico-químicos y biológicos. Con base en los datos obtenidos en este estudio y en estudios anteriores, se pudo determinar que la situación del río continúa en un alto proceso de deterioro de sus aguas.

INTRODUCCION

El río Medellín nace en el Alto de San Miguel, originándose de las quebradas San Miguel, Cañahonda, La Mina y La Clara, las cuales hasta el momento se conservan como ecosistemas poco contaminados. Sus aguas corren luego hacia el norte, recibiendo numerosos tributarios antes de verter sus aguas al río Grande, unos 100 km desde su nacimiento.

Actualmente en el área metropolitana del Valle de Aburrá, este es un ecosistema completamente muerto a excepción

de unas pocas poblaciones de organismos tolerantes a la contaminación que se desarrollan en su lecho y de gran número de aves carroñeras como el gallinazo (*Coragyps atratus*) que hacen uso de la gran cantidad de desechos sólidos que son arrojados al río principalmente en este tramo. Sin lugar a equivocaciones, se puede decir que en este momento debido a las características del desarrollo industrial y urbano de este Valle, es quizás el río Medellín, uno de los más contaminados en Colombia. Ya en 1908 el ingeniero Pedro Rodríguez (citado por Orozco, 1981), había denunciado la alta contaminación en que se hallaba la quebrada Santa

* Profesor asociado, Centro de Investigaciones, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín.

** Biólogo, Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.

Elena y La Palencia, considerándolas como una amenaza pública. Es así como antes de 1920 el río Medellín, si bien presentaba unos pocos afluentes bastante contaminados, las condiciones generales de la calidad de sus aguas era aceptable para ser utilizado por la comunidad como fuente de abastecimiento, diversión y transporte, tanto de personal como de materiales.

Posterior a 1925, con el advenimiento del desarrollo industrial y comercial de la ciudad, el río ha atravesado y sigue sufriendo un continuo deterioro de la calidad de sus aguas, hasta lo que es actualmente: una cloaca a cielo-abierto.

Varios han sido los estudios que se han realizado, que involucren directa o indirectamente al río Medellín; por otro lado muy pocos han sido los estudios que se han efectuado con un carácter biológico. Le correspondió el primer estudio del río Medellín al ingeniero francés Rigal (1914), quien diseñó los primeros alcantarillados para la ciudad de Medellín. Posteriormente el ingeniero inglés Bunker (1923), presentó un informe preliminar sobre la purificación de las aguas del río Medellín; y en 1931 presenta su informe final sobre su aprovechamiento para el abastecimiento de agua de la ciudad. En dicho estudio Bunker pronostica cómo el río Medellín estaba condenado a ser la gran alcantarilla de la ciudad. Entre los años 1931 a 1957 se efectuaron una serie de trabajos relacionados principalmente con el problema del alcantarillado para la ciudad, los cuales involucraban algunas mediciones físico-químicas del agua.

La década de los '70, puede ser considerada como la más fructífera para el río Medellín, ya que en ella es cuando se efectúa el mayor número de estudios sobre la calidad de sus aguas, además de elaborarse un proyecto para su descontaminación y posterior recuperación. En 1972 la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por solicitud de las Empresas Públicas Municipales realizó el que se puede considerar el primer estudio que relaciona las condiciones físico-químicas del agua con parámetros biológicos. En 1973 se efectuó un estudio que relaciona los efectos de la contaminación doméstica e industrial en la fauna béntica del río Medellín (Roldán, et. al., 1973), y uno realizado por la Universidad Nacional sobre la contaminación del río (1973). En el año de 1975 de nuevo la Universidad Nacional de Medellín, realiza dos estudios sobre el estado de contaminación del río, uno de los cuales estudia los desechos líquidos industriales y el otro estudia la calidad de las quebradas afluentes. Por último, en el año de 1979 correspondió a la Universidad de Antioquia por petición de las Empresas Públicas de Medellín un muestreo en el río Medellín para el período de lluvias.

Con el presente trabajo se pretende:

1. Determinar los valores de algunos parámetros físico-químicos y su relación con la fauna béntica presente bajo tales condiciones, a lo largo del río Medellín y sus principales quebradas afluentes.
2. Comparar los datos obtenidos con valores consignados en estudios anteriores, con el fin de hacer una secuencia de los diferentes períodos de deterioro por los que pasa el río a través del tiempo.
3. Hacer recomendaciones con base en los análisis sobre estudios más profundos de la ecología del río bajo las diferentes condiciones de calidad de agua que presenta en su recorrido.

DESCRIPCION DEL AREA

La hoya hidrográfica del río Medellín está conformada por un ramal central y otro oriental de la Cordillera Central de los Andes, los cuales están separados por el valle del río Medellín que corre en un sentido sur-norte. En términos generales la hoya hidrográfica del río Medellín corresponde a la del Valle de Aburrá y concretamente al municipio de Medellín, el cual está localizado a los 6°15'64" L.N. y a los 75°34' de L.W.. Nace a una altura de aproximadamente 2000m y desciende en su confluencia con el río Grande a 1048m, drenando un área de 121.800 ha. Debido a la situación geográfica de la hoya, la mayoría de las zonas de vida se hallan comprendidas entre un bosque húmedo premontano (bh-PM) y un bosque húmedo montano bajo (bh-MB). Posee una pendiente promedio entre Primavera y el río Grande de 0.77o/o, lo que representa una caída de 759m en 99km. Por lo general el río corre por un lecho duro de piedra, grava dura y arena.

A lo largo de su recorrido se hayan asentados diez municipios a saber: Caldas (37.673 habitantes), La Estrella (25.154), Sabaneta (44.934), Envigado (102.102), Itagüí (172.189), Medellín (1'604.845), Bello (192.500), Copacabana (48.473), Girardota (12.763) y Barbosa (11.974), (según Salazar, 1989), (Fig. 1); siendo los municipios de Itagüí, Medellín y Bello los que más cantidad de contaminantes aportan al río debido tanto a las características industriales como al volumen de población establecida en ellos.

En cuanto a los usos del suelo estos están clasificados en siete categorías: residencial, industrial, comercial, institucional, recreacional, vías y masas de agua.

— Zona sur: municipios de Caldas, Sabaneta, Envigado, Itagüí y La Estrella. En Caldas y La Estrella los usos predominantes son el residencial, institucional y recreacional, con bajo desarrollo industrial. En Sabaneta e Itagüí se presenta una concentración industrial alta; en Envigado el uso predominante es el residencial.

- Zona central: municipio de Medellín, presenta todos los usos.
- Zona norte: Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. Los usos industrial y residencial de clase media son los más importantes. Existen áreas libres y actividad agropecuaria (Salazar, op. cit.).

Actualmente el río es utilizado como receptor y medio de transporte de desechos domésticos e industriales, así como el basurero de la mayoría de municipios por los que pasa. Entre los desechos que son vertidos al río se hayan: basuras sólidas de todo tipo, detergentes, residuos de industrias metalmeccánica, siderúrgica, química, licores, pinturas, papel, jabones, abonos, textiles, etc. (el 20o/o de la industria nacional), y todas las aguas negras de la población (2'225.608 habitantes) que se asienta en sus márgenes.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se efectuó entre los meses de marzo a septiembre de 1988, cubriendo dos períodos secos (marzo - abril, julio - septiembre) y un período de lluvia (mayo - junio).

Para la toma de muestras físico-químicas y bénticas se eligieron ocho sitios a lo largo del río Medellín, (Fig. 1), tomando como base los sitios elegidos en trabajos anteriores, con el fin de relacionar los datos obtenidos en este trabajo con los de estos estudios. Tales sitios son: Alto de Minas (I), Primavera (II), Ancón Sur (III), Puente de Envigado (IV), Puente de Barranquilla (V), Puente de Machado (VI), Hatillo (VII), Pradera (VIII), (Fig. 1). Se muestreó un tramo aproximado de 90 km a partir del Alto de Minas hasta el sitio Pescador (Pradera). Para cada sitio se efectuaron tres muestreos así: el 13 de abril, 26 de mayo y el 27 de julio. Para la Estación V se efectuó un muestreo semanal durante 24 semanas. Además se muestrearon las siguientes quebradas afluentes: La Salada, La Valeria, La Doctora, Doña María, Ayurá/Zuñiga, Guayabal/Altavista, Santa Elena y La García (Fig. 1). Se efectuó un solo muestreo el 26 de septiembre de 1983, cerca a la desembocadura con el río.

Trabajo de campo: los siguientes parámetros físico-químicos fueron medidos eléctricamente: temperatura ambiente y temperatura del agua con un WTW LF 91, el pH con un Knick portatest 653 y la conductividad con un WTW LF 91. El oxígeno disuelto fue fijado en el campo para ser luego titulado en el laboratorio. Las muestras para los demás parámetros químicos fueron tomadas en frascos plásticos de un litro de capacidad y posteriormente analizadas en el laboratorio.

El material béntico fue obtenido por el método cualitativo, es decir, se levantaban las piedras del sustrato y se obtenían

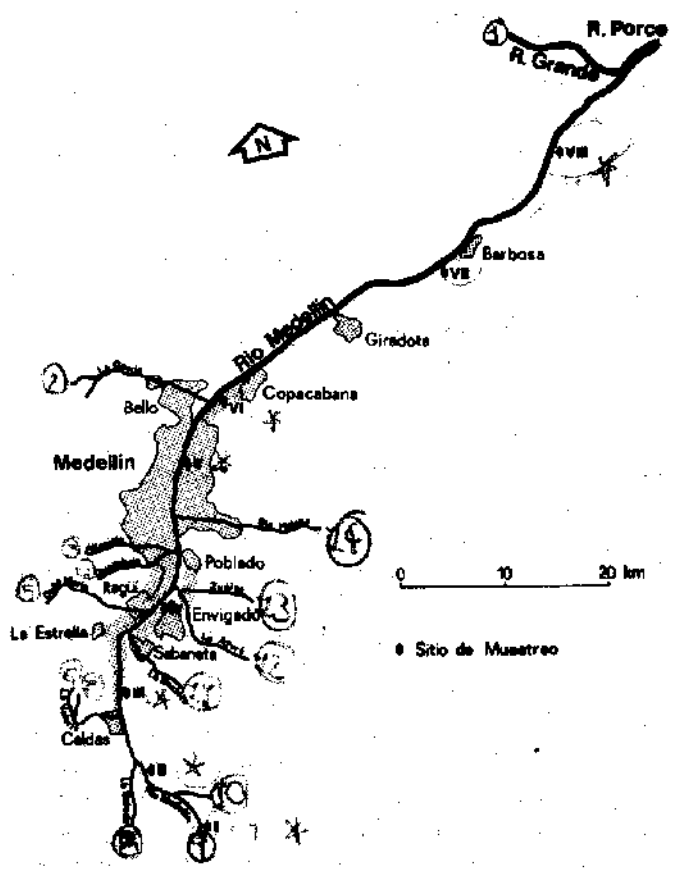


Fig. 1: Esquema de la hoya hidrográfica del río Medellín y sus principales afluentes.

los organismos directamente por medio de pinzas; se empleó también una red triangular para lavar las piedras y obtener muestras de orillas. Los diferentes organismos obtenidos fueron fijados en alcohol al 70o/o más glicerina, para su posterior separación e identificación en el laboratorio.

Trabajo de laboratorio:

- Análisis químico: se tituló el oxígeno disuelto por el método Winkler. Para el DBO₅ se diluyó la muestra y se incubó por cinco días y posteriormente se tituló el oxígeno por el método anterior. Para la demanda química de KMnO₄ fue oxidada la muestra y titulada con permanganato de potasio; igualmente la dureza se tituló con EDTA (0.01N) y finalmente los cloruros se titularon con nitrato de plata y cromato de potasio como indicador. En cuanto al Amonio, el Nitrito y el Fosfato se hizo una determinación fotométrica, por medio del espectrofotómetro Lange LP6.
- Análisis biológico: para la separación e identificación del material biológico se empleó un estereoscopio marca Nikkon modelo SMZ-2 y el microscopio marca Leitz

Ortholux II, además se emplearon principalmente las siguientes claves taxonómicas: Arango (1982), Brown (1976), Correa (1980), Edmondson (1959), Edmunds et. al. (1976), Johansen (1977), Merrit y Cummins (1978) y Pennak (1978).

Para los grupos más conocidos se llegó al nivel de especies tentativas con el fin de aplicar los índices de diversidad.

Continuando con la identificación de las especies se determinó el número de taxones, el número de individuos por taxón y su abundancia con el fin de aplicar la siguiente fórmula de diversidad.

Shannon (1948):

$$d = - \sum_{i=1}^s \frac{Ni}{N} \cdot \log_2 \frac{Ni}{N}$$

donde:

d es la diversidad

s es el número de taxones en la muestra

Ni es el número de individuos en cada taxón i

N es ΣNi.

RESULTADOS Y ANALISIS

CONTAMINACION A LO LARGO DEL RIO

Físico-Químicos: Los valores promedios máximos y mínimos para cada estación se presentan en la Tabla 1.

— **Temperatura:** Los valores más bajos en el agua, 14.8°C y 17.9°C respectivamente, se presentaron en las Estaciones I y II con características de altas montañas. Río abajo se obtuvieron los valores más altos en las Estaciones VI y VII con 24.9°C para cada una (Tabla 1 y Fig. 2).

— **Oxígeno disuelto:** la mayor concentración de este gas se halló en estaciones con poca o ninguna perturbación, como son las Estaciones I y II, con valores promedios de 8.0 mg/l y con una saturación del 99.3o/o y 7.4 mg/l con una saturación del 98.8o/o respectivamente (Fig. 3). A medida que el río va recibiendo mayores descargas contaminantes y su temperatura va aumentando descende el nivel de oxígeno, hasta llegar a su nivel más crítico en la Estación VI, con 0.2 mg/l y un promedio de saturación de 2.5o/o. En la Estación VIII se alcanzó de nuevo un valor alto, 6.1 mg/l, debido en gran parte a la alta reoxigenación en estos tramos del río (Fig. 3).

— **pH:** en general los valores del pH se mantuvieron en promedio dentro de un rango neutro, entre 6.7 y 7.4. Se puede apreciar cómo en las estaciones de alta contaminación el río se hace más ácido, para alcanzar nuevamente un valor aproximadamente neutro en la Estación VIII (Fig. 4).

— **Conductividad:** en estaciones con poca o ninguna contaminación, como en este caso la I y II, presentaron bajos valores 47.2 μmhos/cm y 47.7 μmhos/cm. respectivamente. Al igual que para los anteriores parámetros, los valores críticos se hallaron en el área de mayor influencia de contaminación, cuyo valor máximo se presentó en la Estación V, con un promedio de 348.3 μmhos/cm. (Fig. 5).

— **DBO₅:** los más bajos valores, 1.1 mg/l y 2.2 mg/l, se obtuvieron en las Estaciones I y II; estos valores siguen en aumento a medida que la contaminación se hace mayor, hasta llegar al nivel máximo de 168 mg/l en la Estación V (Tabla 1, Fig. 6).

— **Demanda química de permanganato:** los valores se tienen para las Estaciones I y II, con valores promedios de 4.7 mg/l y 7.5 mg/l respectivamente; luego estos valores se van haciendo mayores a medida que la carga contaminante también aumenta, hasta llegar a un valor máximo de 164 mg/l (Tabla 1), en la Estación V, posteriormente, los valores bajan hasta 64 mg/l en la Estación VIII, indicándonos aún la presencia en este sitio de carga orgánica (Fig. 6).

— **Amonio:** para las dos primeras estaciones, se observaron valores de 0.20 mg/l y 0.23 mg/l respectivamente. Posteriormente, en las áreas críticas del río, su valor fluctúa entre 3.5 mg/l en la Estación IV y 7.4 mg/l en la Estación VI (Fig. 7).

— **Nitrato:** se encontraron los valores más bajos en los sitios no contaminados como son la Estación I y II, con valores promedios respectivos de 0.13 mg/l y 0.20 mg/l. Con el incremento en la contaminación, su valor también se ve aumentado hasta llegar a los 4.8 mg/l en la Estación VIII (Fig. 7). Se cree que estos altos niveles en las últimas estaciones del río se deben principalmente a la degradación de las proteínas y en general de la materia orgánica, por efecto de una alta actividad bacterial en la degradación del amonio a nitrito y éste a nitrato, facilitado por los niveles de oxígeno disuelto en las Estaciones VII y VIII.

— **Nitrito:** su interpretación está bajo las mismas condiciones de los nitratos ya que hace parte del proceso de degradación del amonio a nitrito y éste a nitrato. Su valor varió entre 0.01 mg/l en la Estación I y 0.54 mg/l en la Estación VIII.

— **Fosfato:** en las Estaciones I y II, su concentración es característica de aguas limpias, 0.05 mg/l y 0.07 mg/l

110 MC

TABLA 1: Parámetros físicoquímicos con sus valores promedio, mínimo y máximo a lo largo del río Medellín.

ESTACION:		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T ambiente (°C)	φ	22,4	26,1	29,5	30,8	31,4	31,9	33,7	34,0
	Mín-Máx	18,1-26,4	23,1-29,9	26,2-33,8	28,2-35,3	29,0-35,3	30,0-35,4	30,8-37,2	32,3-36,2
T agua (°C)	φ	15,7	18,9	21,6	22,8	24,0	24,2	24,2	24,2
	Mín-Máx	14,8-17,4	17,9-20,6	19,9-23,4	21,8-24,5	23,6-24,7	23,9-24,9	23,6-24,8	23,8-24,9
pH	φ	7,2	7,3	7,3	7,1	7,0	6,8	6,7	7,4
	Mín-Máx	6,9-7,3	7,2-7,3	7,1-7,4	6,6-7,3	6,7-7,3	6,6-7,0	6,5-6,8	7,1-7,7
Conductividad (mho/cm)	φ	47,2	47,7	93,0	181,7	348,3	273,3	248,7	226,3
	Mín-Máx	46-48	45-52	19-108	132-220	296-428	238-331	195-352	159-299
O. D. (mg/l)	φ	8,0	7,4	6,7	4,2	2,7	0,2	1,6	6,1
	Mín-Máx	7,8-8,1	7,2-7,6	6,4-7,2	3,1-5,5	1,8-3,2	0,1-0,2	0,2-3,2	5,7-6,6
O ₂ -Saturación (o/o)	φ	99,3	98,8	93,5	59,3	38,8	2,5	23,0	88,6
	Mín-Máx	98,0-100,6	98,6-99,2	89,1-97,6	43,8-80,6	26,1-47,1	1,5-3,0	2,9-47,2	82,7-97,6
O ₂ -Déficit (mg/l)	φ	0,1	0,1	0,5	2,9	4,2	6,7	5,3	0,8
	Mín-Máx	0,0-0,2	0,1-0,1	0,2-0,8	1,3-1,4	3,9-5,1	6,6-6,8	3,6-6,7	0,2-1,2
DBO ₅ (mg/l)	φ	1,1	2,2	15,2	102	104	81	42	35
	Mín-Máx	0,9-1,2	1,8-2,7	11-22	39-183	55-168	57-106	39-48	25-46
Demanda KMnO ₄ (mg/l)	φ	4,7	7,5	58	142	164	102	63	64
	Mín-Máx	3,9-5,3	4,7-9,8	36-85	111-187	96-215	83-123	50-76	22-13
Amonio (mg/l)	φ	0,20	0,23	0,83	3,5	5,9	7,4	4,3	4,3
	Mín-Máx	0,1-0,3	0,1-0,3	0,3-1,7	2,2-4,8	3,2-9,7	2,9-13,9	2,1-6,7	1,6-7,1
Nitrito (mg/l)	φ	0,01	0,02	0,34	0,20	0,25	0,19	0,33	0,54
	Mín-Máx	0,00-0,02	0,01-0,03	0,27-0,41	0,17-0,25	0,20-0,35	0,12-0,29	0,04-0,65	0,22-0,79
Nitrato (mg/l)	φ	0,13	0,20	2,2	2,4	2,3	2,8	3,1	4,8
	Mín-Máx	0,1-0,2	0,1-0,4	0,5-3,3	1,4-3,5	1,9-3,1	2,4-3,1	2,2-4,3	2,0-6,9
Fosfato (mg/l)	φ	0,05	0,07	0,86	2,1	2,0	1,4	1,0	0,80
	Mín-Máx	0,04-0,07	0,06-0,1	0,7-1,2	0,8-3,8	1,1-3,2	0,9-2,1	0,7-1,5	0,5-1,1
Cloruro (mg/l)	φ	3,0	3,2	5,3	14,7	48,0	28,7	24,7	22,0
	Mín-Máx	2,0-3,5	2,5-3,5	4,5-6,5	10-17	34-75	22-39	16-38	14-32
Dureza (mval/l)	φ	0,46	0,37	0,67	0,90	1,18	1,11	1,15	0,97
	Mín-Máx	0,4-0,6	0,3-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	1,1-1,3	1,0-1,2	1,1-1,2	0,9-1,1

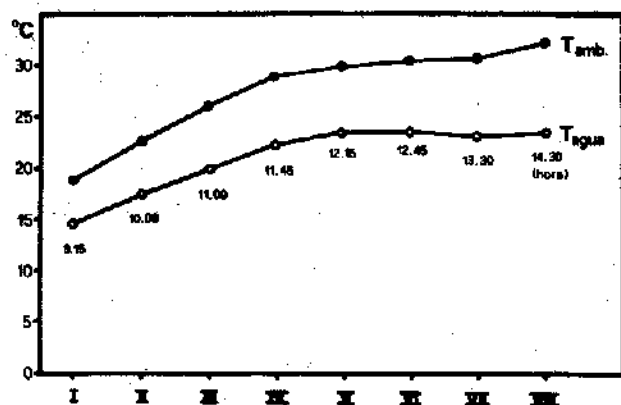


Fig. 2: Variación en la temperatura ambiente y del agua a lo largo del río Medellín el 27-VII-83.

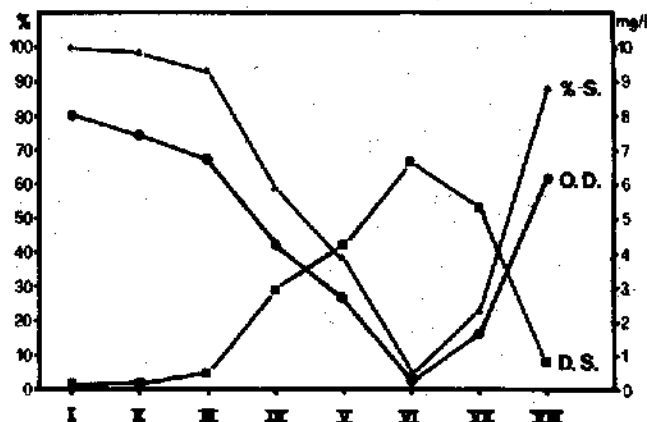


Fig. 3: Valores promedio de oxígeno disuelto (OD), saturación de oxígeno (o/o-S) y déficit (DS) a lo largo del río Medellín.

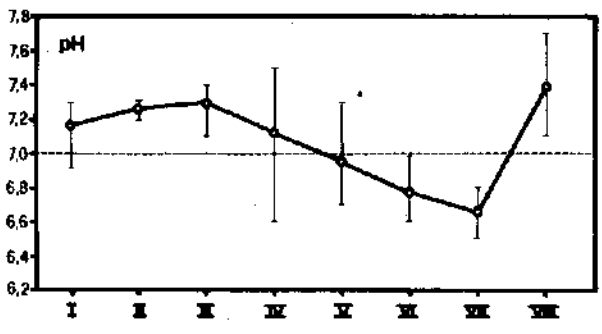


Fig. 4: Valores promedio de pH a lo largo del río Medellín. (Las barras verticales indican valores máximos y mínimos).

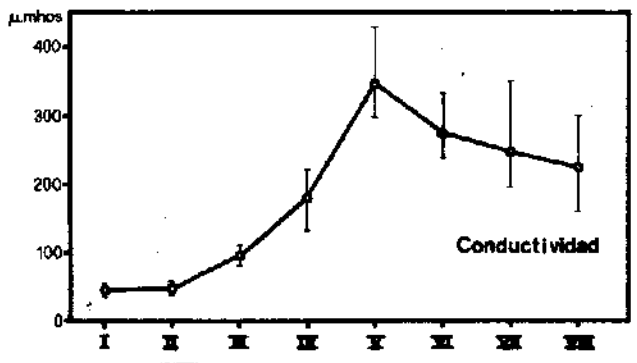


Fig. 5: Valores promedio de conductividad a lo largo del río Medellín. (Las barras verticales indican valores máximos y mínimos).

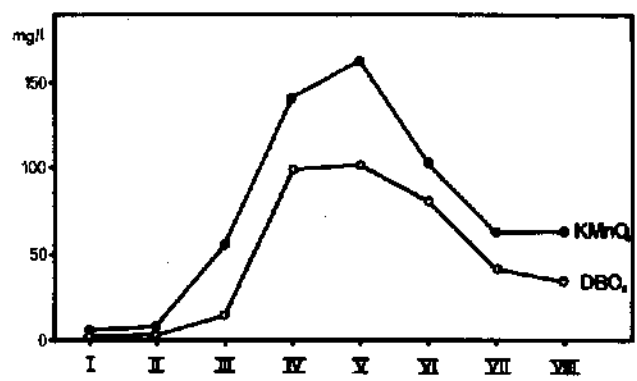


Fig. 6: Valores promedio de la DBO5 y la demanda de KMnO4 a lo largo del río Medellín.

respectivamente. Río abajo su concentración aumenta también alcanzando altos valores como en la Estación IV de 2.1 mg/l (Fig. 7), cuyos niveles son propios de aguas contaminadas.

— **Cloruro:** al igual que para los anteriores parámetros su valor va en aumento a medida que el río va reci-

biendo mayor descarga contaminante; su valor más alto se encontró en la Estación V, con 48.0 mg/l (Fig. 8).

— **Dureza:** en general para el río Medellín se encontraron bajos valores, 0.37 mval/l en la Estación II; siendo el máximo de 1.18 mval/l en la Estación V (Fig. 8).

+ **Biológicos:** El uso de macroinvertebrados bénticos como indicadores de contaminación en corrientes de agua es importante debido a que dan una indicación a largo término de las condiciones en que se encuentra un ecosistema acuático. Los análisis químicos de una muestra de agua dada, en cambio, indican las condiciones de ese cuerpo de agua en el momento de ser tomada la muestra. Gaufin (1973) establece que: "las evaluaciones de la contaminación de las aguas son principalmente un problema biológico debido a que su efecto primario es sobre los organismos vivos".

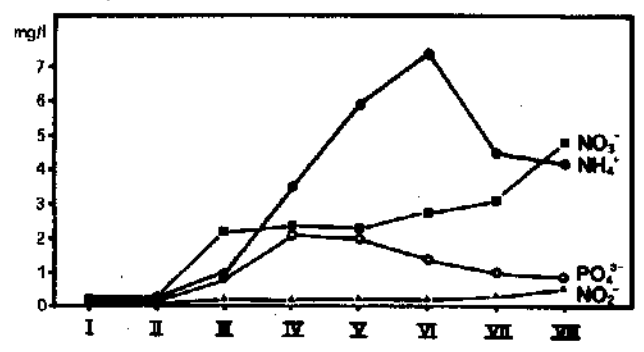


Fig. 7: Valores promedio para amonio, nitrato, nitrito y fosfato a lo largo del río Medellín.

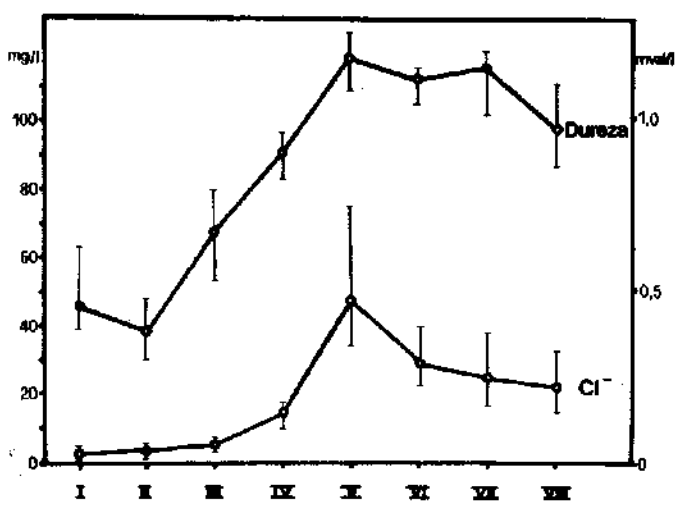


Fig. 8: Valores promedio de dureza y cloruro a lo largo del río Medellín. (Las barras verticales indican valores máximos y mínimos).

La Tabla 2 presenta el número de macroinvertebrados bénticos por estación y el porcentaje en que cada grupo se halla presente para dicha estación. Las ideas concernientes a especies ideales indicadoras de contaminación son muy diversas y quizá no sean reales. Los taxones han sido clasificados de acuerdo a su capacidad de soportar la contaminación (tolerantes), de vivir en aguas limpias (sensitivos a la contaminación); o ambos (facultativos).

TABLA 2: Porcentaje de organismos bénticos hallados a lo largo del río Medellín.

ESTACION		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
TURBELLARIA									
PLANARIIDAE	Dugesia sp1	1,8							
	Dugesia sp2	—	0,6						
OLIGOCHAETA									
TUBIFICIDAE				32,5	87,0	85,6	84,0	50,4	48,7
HIRUDINEA									
GLOSSIPHONIDAE	Nobolichia(1) sp			9,8	2,3				
ERPOBDELLIDAE	Erpobdella(2) sp								17,6
PLECOPTERA									
PERLIDAE	Ameletaria sp	10,8	7,1						
EPHEMEROPTERA									
BARTIIDAE	Bartia sp1	4,0	1,3						
	Bartia sp2	1,7	—						
	Bartia sp3	—	—						
	Bartia sp4	—	1,5	3,7					
	Bartia sp5	—	—	1,3					
	Bartia sp6	2,3	7,1	4,0					
	Dactylobaetis sp1	—	1,5	8,4	5,1				
	Dactylobaetis sp2	—	2,6	—	—				
LEPTOFLEBIIDAE	Hypnobaetis sp	0,8	0,8						
	Hypnobaetis sp1	1,1	1,3						
	Thraupia sp1	—	4,5	0,7					
	Thraupia sp2	0,6	11,5	1,7					
	Thraupia sp3	0,3	8,4	1,9					
TRICORYTHIDAE	Lepidocoryth sp1	0,6	6,4	0,7					
	Lepidocoryth sp2	—	11,0	9,5					
ODONATA									
CALOPTERYGIDAE				1,0					
ZEPHYRIDAE	Aizawa sp			0,3					
MEGALOPTERA									
CORYDALIDAE	Corydalis sp		1,3						
TRICHOPTERA									
POLYCENTRIDAE		0,5	0,6						
HYDROPSYCHIDAE	A	1,1	0,6	0,3					
	B	—	1,9	—					
	Microcentrus	0,6	—	—					
	Leptocentrus sp	0,5	—	—					
	Stenocentrus sp	1,1	4,5	—					
RHYACOPHILIDAE	Apatyche sp	—	6,5	—					
GLOSSOMATIDAE		0,6	—	—					
HYDROPTILIDAE	A	—	0,6	—					
	Hydroptila sp	—	0,6	—					
	Dichroptila sp	—	5,1	—					
ODONTOCERIDAE	Mertis sp	2,2	—	—					
MELICOPSYCHIDAE	Melicopsyche sp	8,0	0,6	—					
CALAMOCERATIDAE		—	1,3	0,3					
LEPTOCERIDAE	A	0,6	—	—					
	Melicopsyche sp	—	1,9	0,3					
	Oedrobia sp	—	3,2	—					
LEPIDOPTERA									
PYRALIDAE	Crematops(1) sp	0,3	—	—					
COLEOPTERA									
GYRINIDAE	Gyrinus sp	4,0	—	—					
PSYDRINIDAE	Psychodrus sp	5,1	—	—					
DEYRIDAE	Deysia sp	1,6	—	—					
	Lathraea sp	0,6	—	—					
EUMIDAE	Eumia sp	3,8	—	—					
	Stenonema sp1	19,3	—	—					
	Stenonema sp2	0,5	1,3	—					
	Stenonema sp3	2,3	—	—					
	Heteronema sp	1,8	0,6	—					
	Anisotoma sp	2,2	—	—					
PTILODACTYLIDAE									
DIPTERA									
TIPULIDAE	A	0,5	—	—					
	Gerrisomyia sp	2,7	—	—					
SIMULIIDAE				3,0					
TABANIDAE	A	—	0,6	—					
	Hemiteles sp	0,6	—	—					
CHIRONOMIDAE	A	—	5,9	10,4	2,3	3,8	12,0	4,4	4,8
	B	—	2,6	8,1	1,5	1,5	—	3,2	2,4
	C	—	—	6,0	—	—	4,0	—	—
BLEPHARICERIDAE	Limerisella sp	—	1,0	—					
MOLLUSCA									
PLANORBIDAE	Tropocorbis sp	6,3	—	—					
ARCHIDAE		—	—	0,7					
PHYSIDAE	Physa sp	—	—	5,8	0,8				7,0
SPHAERIIDAE		1,8	—	—					
PISCES									
ASTROBLEPIDAE	Astroblyptus microstomus	3,4	—	—					
NA. DE ESPECIES		38	22	22	6	3	3	3	5
DIVERSIDAD		4,4	4,3	3,6	0,8	0,3	0,3	0,3	1,4

— Planariidae: Turbellarios, habitantes de aguas limpias en general. Se encontraron dos especies de *Dugesia*, en una baja densidad: 1.8o/o la sp₁ en la Estación I y 0.64o/o la sp₂ en la II.

— Oligochaeta: Goodnigh y Whitley (1961) concluyen: "dondequiera que los oligochaetos constituyan más del 80o/o de la población de macroinvertebrados totales es un índice de alta contaminación, entre 60 – 80o/o hay problemas y por debajo de 60o/o existen buenas condiciones". Según estos autores las Estaciones IV (87o/o), V (95.6o/o), VI (84o/o) y VII (90.4o/o) presentan una alta contaminación, mientras que en la Estación VIII (68.2o/o), más que presentar un problema, no presenta un sustrato apropiado para este tipo de organismos.

— Hirudinea: estuvieron presentes en los muestreos dos familias diferentes de sanguijuelas, con una baja densidad: Glossiphonidae en la Estación III (9.7o/o) y IV (2.3o/o) y Erpobdellidae en la Estación VIII (17.6o/o).

— Plecóptera: parecen ser muy sensitivos a varios parámetros químicos excepto a alto pH (Roback, 1974); su presencia es un índice de aguas limpias. Estuvieron presentes en las Estaciones I y II con densidades del 10.8o/o y del 7o/o respectivamente, lo que indica condiciones físico-químicas apropiadas para el establecimiento de estas poblaciones.

— Ephemeroptera: fue el grupo más abundante, y en general de los indicadores de aguas claras el de mayor distribución. En la Estación I fue el tercer grupo más abundante, 11.9o/o, mientras en la Estación II alcanzó la mayor diversidad (doce especies) y una densidad del 57o/o, en la cual están presentes todos los géneros reportados en este estudio. Posteriormente en la Estación III este porcentaje desciende a 21.5o/o, con la presencia de organismos característicos de aguas con continuo transporte de sedimentos, como es el género *Dactylobaetis* (8.3o/o). Para la Estación IV el 6.1o/o estuvo representado por el género *Dactylobaetis* el cual se halló bajo una concentración de DBO₅ de 102 mg/l y oxígeno disuelto de 4.2 mg/l, aquí la presencia de estos organismos posiblemente sea debida al arrastre por corrientes altas en época de lluvias durante la cual se recolectaron.

— Odonata: se hallaron en baja cantidad, 1.3o/o, en la Estación III. Este bajo valor realmente tiene poca incidencia en la evaluación de la calidad por parte de este grupo.

— Megalóptera: estuvieron presente únicamente en la Estación II, en muy baja densidad, 1.3o/o.

— Trichóptera: en el presente estudio se hallaron nueve familias, con densidades más o menos semejantes para la Estación I (20.3o/o) y II (23.9o/o), lo que nos indica buenas condiciones en la calidad del agua para la presencia de estas comunidades en estas estaciones. En la Estación III la densidad bajó a 0.9o/o, indicando un ligero deterioro en la calidad del agua, aunque también debe tenerse en cuenta que aquí el sustrato no es apropiado para el establecimiento de este tipo de organismos.

— Lepidóptera: en este estudio se halló solamente una larva de Pyralidae en la Estación I, por lo cual carece de alguna significación en cuanto a la calidad del agua.

✓ Coleóptera: la mayor densidad se encontró en la Estación I (39.7o/o), representado este porcentaje principalmente por la familia Elmidae (25o/o). Además de ésta se hallaron en la Estación II, en un 1.3o/o.

— ✓ Díptera: se hallaron cinco familias de dípteros a lo largo del río Medellín en muy bajas densidades para las especies consideradas como de aguas limpias, tales como la Tipulidae, 2.8o/o y el género *Hemerodromia* (Tabanidae), 0.56o/o para la Estación I y la familia Tabanidae (0.64o/o) y el género *Limonicola* (Blephariceridae) 1.0o/o en la Estación II.

La familia Simuliidae se presentó en la Estación III, con una densidad del 5o/o, en un sitio de alta corriente y aceptables niveles de oxígeno disuelto (6.7 mg/l).

El grupo más abundante de los dípteros fue la familia Chironomidae. Se encontró a lo largo del río a partir de la Estación II, —con una densidad del 6.5o/o—, la cual va aumentando a medida que aumenta la contaminación, siendo las Estaciones III y VI las que mayor abundancia presentan, 24o/o y 16o/o respectivamente. El tipo de chironómidos más representativo en este estudio, es el que posee hemoglobina en su sistema respiratorio, y son indicadores de condiciones de anaerobiosis y de alta contaminación o ambas, lo cual está de acuerdo con las condiciones del río a partir de la Estación IV hasta la VIII inclusive.

— Gastrópoda: se encontraron tres familias de gastrópodos: la familia Planorbidae sólo se halló en la Estación I, con un 6.5o/o. El género *Physa* fue hallado tanto en la Estación III (5.3o/o) como en la Estación IV (0.8o/o), este género es un indicador de contaminación orgánica y bajos niveles de oxígeno disuelto. Además, en la Estación III se hallaron dos representantes de la familia Ancyliidae, a los que corresponde un 0.7o/o.

— Pelecypoda: de acuerdo a Pennak (1978) habitan en aguas no contaminadas, lo cual está de acuerdo con lo

hallado en este estudio en la Estación I, para la familia Aphaeridae con un 1.8o/o.

— Písces: en el presente estudio fueron hallados solamente en la Estación I y correspondió a la especie *Astroblepus* (c. f.) *micrescens* un 3.4o/o del total de organismos en esta estación.

DIVERSIDAD DE ESPECIES COMO UNA MEDICION DE LA CALIDAD DEL AGUA

La utilidad de los índices de diversidad de especies para establecer la calidad de una fuente de agua, se basa en la suposición de que en corrientes limpias hay altos valores en la diversidad (Whilm y Dorris, 1968). Por el contrario en corrientes contaminadas, existen bajas diversidades.

Weber (1973) indica que la diversidad de especies en corrientes sin contaminar, está generalmente entre 3 y 4, y en aguas contaminadas su valor es menor de 1. De acuerdo a esto en las Estaciones I y II existen condiciones de muy buena calidad del agua, con valores de 4.4 y 4.3 respectivamente (Tabla 2), lo cual es apoyado por la variedad de organismos bénticos hallados y por las condiciones físico-químicas, las cuales son buenas. Posteriormente en la Estación II se obtiene una clara disminución en los valores de diversidad, lo cual corresponde con cierto deterioro en las condiciones físico-químicas del agua y por ende en la disminución de gran variedad de organismos, como son aquellos característicos de aguas limpias, encontrándose por el contrario organismos tanto facultativos, como tolerantes a la contaminación. A partir de la Estación IV hasta la VIII la diversidad de especies en el río se hace menor de 1, lo que de acuerdo a Weber (op. cit.) es un indicativo de alta contaminación.

Además, esto se apoya en el hecho de que las únicas poblaciones de macroinvertebrados presentes son los tubificidos y chironómidos; la más baja diversidad se halló en la Estación V, con 0.30. Un hecho significativo se encuentra en la Estación VIII, en la cual la diversidad aumenta a 1.4, valor que es incrementado sin lugar a dudas por la presencia de organismos del género *Physa* y *Erpobdella* (Fig. 9).

CONTAMINACION EN DIFERENTES EPOCAS DEL AÑO

Debido a las características de alta contaminación que presenta el río Medellín dentro del área metropolitana, la variación en los parámetros físico-químicos detectada en este estudio se deben principalmente a las variaciones con el flujo que presenta el río en las épocas de lluvia y sequía. Como se puede observar en la Tabla 3, el 20 de mayo de 1988 (llu-

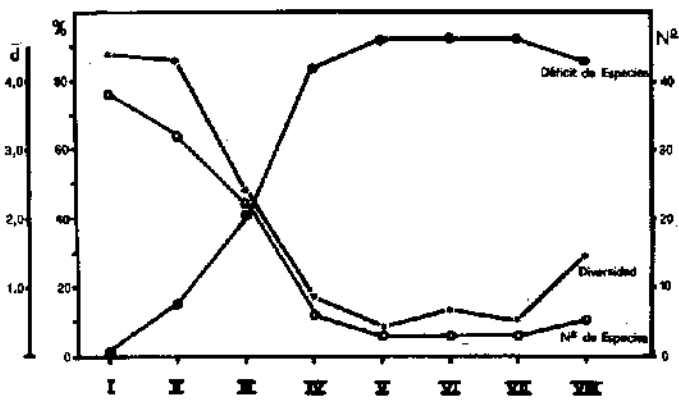


Fig. 9: Diversidad, número y déficit de especies a lo largo del río Medellín.

Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos en la estación V.

	Temp	Cond.	pH	O.D.	O ₂ Sat.	O ₂ Det.	DBO ₅	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	Cl ⁻	Dureza
	°C	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	meq/l
III-14	24.8	492	6.7	0.2	2.9	6.6	128	9.4	0.44	1.5	2.0	49	1.5
III-21	26.9	392	7.0	0.5	7.4	6.3	100	8.0	0.21	2.1	2.6	42	1.5
III-28	24.3	400	7.3	2.0	29.2	4.8	210	8.5	0.49	2.7	1.8	38	1.6
IV-7	24.9	349	7.5	3.2	46.5	3.7	191	7.2	0.24	2.4	1.4	40	1.8
IV-13	23.6	321	7.3	3.2	46.2	3.7	89	3.2	0.21	1.9	1.7	35	1.2
IV-20	25.4	289	7.9	3.5	50.4	3.4	60	3.4	0.19	0.4	1.9	33	1.4
IV-27	22.2	375	7.2	4.1	57.8	3.0	75	2.1	0.26	0.2	0.8	35	1.3
V-4	23.2	242	7.4	3.7	82.2	3.4	72	4.4	0.18	0.4	0.9	32	1.3
V-13	23.4	239	7.2	3.5	50.4	3.4	200	5.4	0.15	0.9	1.7	31	1.3
V-20	21.8	312	7.3	5.1	71.5	2.0	55	3.9	0.29	2.6	1.0	27	1.0
V-26	24.7	296	6.7	3.2	47.1	3.5	55	4.7	0.35	3.1	1.1	34	1.2
VI-3	22.0	300	6.2	4.2	19.1	2.9	88	5.3	0.10	0.9	0.9	36	1.3
VI-4	22.4	317	6.8	2.5	35.4	4.6	99	8.2	0.17	1.2	1.9	37	1.3
VI-16	22.5	307	6.9	2.9	28.4	5.1	96	10.1	0.28	1.3	2.1	40	1.3
VI-24	23.4	328	6.8	3.9	49.3	3.9	89	4.5	0.26	1.6	3.0	39	1.4
VII-1	24.6	359	6.9	0.7	1.5	6.7	156	9.4	0.31	1.8	5.1	42	1.3
VII-5	24.8	369	7.1	1.2	17.2	5.6	194	7.6	0.21	2.0	2.2	41	1.2
VII-18	23.5	343	6.9	3.0	43.3	3.9	170	8.8	0.14	5.2	2.4	43	1.3
VII-21	23.7	349	6.8	0.8	11.6	6.1	208	8.9	0.46	2.8	2.4	40	1.3
VII-27	23.4	428	6.9	1.8	26.1	5.1	148	9.7	0.20	2.0	3.2	35	1.3
VIII-3	22.8	338	6.9	2.5	35.2	4.5	138	12.0	0.28	1.7	1.8	39	1.2
VIII-10	23.4	411	7.0	1.1	11.9	3.6	196	9.9	0.32	2.9	2.2	44	1.3
VIII-17	23.9	419	6.8	0.8	11.5	6.2	184	10.8	0.36	2.5	2.0	38	1.2
VIII-22	24.0	371	7.0	3.0	29.1	4.9	210	15.5	0.38	1.5	1.2	42	1.3
φ	23.3	340	7.0	2.38	34.2	4.6	133	7.8	0.27	1.9	2.0	40.5	1.26
MFA	21.8	280	6.7	0.1	1.5	2.0	55	2.1	0.10	0.2	0.8	27	1.0
M6L	20.0	428	7.7	5.1	71.5	6.7	210	15.5	0.49	5.2	3.8	75	1.6

via), con una mayor dilución se obtiene el valor más alto de oxígeno disuelto 5.1 mg/l, mientras que con menor dilución (sequía) se tienen valores de 0.1 el 1o. de julio de 1983 y 0.2 el 14 de marzo de 1983. Al igual que se obtienen altas concentraciones de oxígeno, se presentan bajos valores en la DBO₅ como el 26 de mayo de 1983, en el que se obtiene el más bajo valor, 55 mg/l. Este mismo fenómeno se presenta para parámetros como: amonio, nitrato, cloruro y conductividad (Fig. 10), en la que se comparan los valores actuales con el promedio ponderado del estudio realizado en 1972 por la Universidad Nacional.

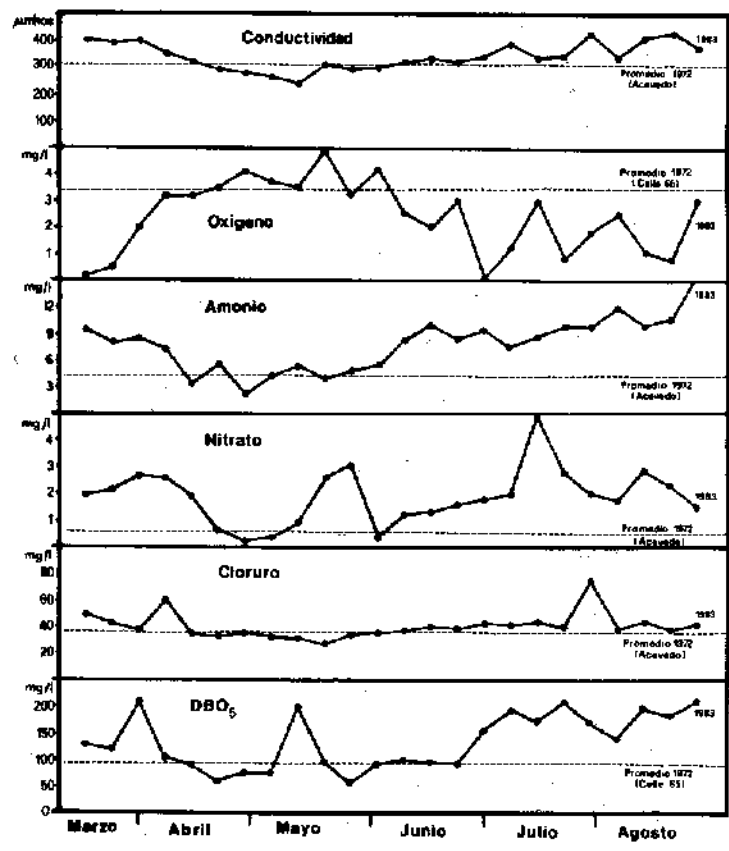


Fig. 10: Algunos parámetros fisicoquímicos en diferentes épocas del año en la Estación V. (La línea discontinua muestra el promedio de estos parámetros en el estudio realizado en 1972 por la Universidad Nacional).

CALIDAD DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES AFLUENTES

En la Tabla 4 se pueden observar los valores de los diferentes parámetros físico-químicos analizados. De los ocho afluentes escogidos para este estudio solamente uno de ellos posee la característica de aguas limpias y libre de una contaminación humana inmediata; éste es la quebrada La Salada (Primavera), la cual presenta buenas condiciones físico-químicas del agua, con niveles de oxígeno disuelto de 7.6 mg/l, DBO₅ de 1.0 mg/l y en general bajos valores para los diferentes parámetros característicos para contaminación. De acuerdo a esto, posee las condiciones requeridas para el establecimiento de una fauna béntica variada, lo cual está apoyado por la presencia de grupos tales como: plecópodos (3.8o/o), efemerópteros (75.4o/o), trichópteros (7.6o/o) y coleópteros (Elmidae) (9.4o/o), los cuales son indicadores biológicos de buena calidad de agua.

La quebrada La Valeria se halla dentro del perímetro urbano del municipio de Caldas, y por tanto le sirve como alcan-

tarilla natural para drenar parte de las aguas negras de esta población. En general todos los parámetros denotan un claro deterioro en la calidad físico-química del agua (Tabla 4). Esto se refleja en la población béntica la cual consiste de organismos indicadores de contaminación como: Tubificidae (41.1o/o), Chironomidae (55.9o/o) y *Physa* (3o/o).

Dentro del área metropolitana fueron muestreadas las quebradas: La Doctora (Sabaneta), Doña María (Itagüí), La Ayurá/Zuñiga (Envigado), La Guayabala/Altavista (Medellín), La Santa Elena (Medellín) y La García (Bello). Desde muchos años atrás todos estos municipios han utilizado estas arterias como alcantarillas naturales, lo que sumado a su bajo caudal respecto al río las convierte en ecosistemas altamente contaminados. El afluente más contaminado en esta área es la quebrada La Doña María, con niveles de oxígeno disuelto de 0.1 mg/l y DBO₅ de 215 mg/l (Tabla 4); la población bentónica estuvo representada en un 100o/o por organismos característicos de alta contaminación (Tubificidae). Esté es un claro ejemplo de ecosistemas altamente contaminante por efecto de una alta población industrial y humana.

nes más precisas y confiables respecto a la calidad físico-química del agua. Así, por ejemplo se puede observar en la Figura 10, cómo hay una tendencia en el incremento de algunos parámetros físico-químicos cuyo aumento en concentración es un índice de contaminación, tales como: la conductividad, el amonio, el nitrato, el cloruro y el DBO₅ y un marcado descenso en la concentración de oxígeno disuelto, entre los años 1972 a 1983. Este hecho se halla además apoyado por el alejamiento cada vez mayor de la zona de recuperación del río, así es como en el período de 1953-1956 esta zona comenzaba un poco abajo de El Puente de Acevedo, a finales de los '70 comenzaba en Hatillo y era casi completa en el sitio Pradera, cerca a la confluencia con el río Grande (Salazar, 1981). En el presente estudio, si bien hay un súbito aumento en el oxígeno disuelto en este sitio, los demás parámetros físico-químicos permanecen aún en altas concentraciones (Fig. 10), lo que nos permite suponer que la zona de recuperación sigue desplazándose aguas abajo. Como consecuencia se desprende que el problema del río Medellín no es solamente a nivel local, sino que abarca todas las zonas por donde drena sus aguas, las cuales son utilizadas tanto en riego como fuente de agua para el abastecimiento humano.

TABLA 4: Parámetros físico-químicos de los afluentes prioritarios.

	T agua °C	Cond. µmhos	pH	O.D. mg/l	O ₂ Sat. ojo	O ₂ Def. mg/l	DBO ₅ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Dureza mg/l
Q. La García	19,2	148	7,3	5,4	85,6	1,1	52	3,8	0,26	2,3	0,6	13	0,9
Q. Sta. Helena (Estación VIII)	23,6	159	7,4	2,1	28,8	4,9	87	6,5	0,06	0,6	0,8	34	1,3
A.Q. Guayabala/A. (Tercero)	22,7	364	8,7	2,3	32,7	4,7	129	11,6	0,22	2,0	1,3	38	1,4
Q. Ayurá/Z. (Envigado)	25,5	162	7,2	5,3	79,0	1,4	38	1,2	0,39	1,8	0,4	14	1,0
Q. Doña María (Itagüí)	22,6	427	7,3	0,1	1,4	6,8	215	7,2	0,20	1,7	1,1	41	1,3
Q. La Doctora (Sabaneta)	22,4	84	7,4	7,0	99,1	0,1	18	0,9	0,19	2,6	0,2	7	0,5
Q. La Valeria (Caldas)	19,8	191	7,5	5,8	78,4	1,6	41	2,8	0,23	0,8	0,4	11	1,1
Q. La Salada (Pintura)	16,6	82	7,3	7,6	100,5	0	1,0	0,09	0,03	0,6	0,04	2	0,04

Aparece como segundo ecosistema más contaminado la quebrada La Santa Elena. Se midió una concentración de oxígeno disuelto de 2.0 mg/l, una DBO₅ de 87 mg/l; entre los organismos hallados el 50o/o fueron chironómidos y el 33.3o/o tubificidos.

CONCLUSIONES

En los últimos diez años se han incrementado el número de estudios relacionados con el estado de la contaminación del río Medellín y sus quebradas afluentes; igualmente el volumen de descargas contaminantes a través de su recorrido sigue en aumento, lo que permite en cierta medida observar el deterioro en la calidad de sus aguas, principalmente en esta última década, en la cual se han realizado determinacio-

Por otro lado, se puede observar en esta Figura 10 que el río en el área metropolitana presenta bajos valores en sus parámetros físico-químicos en los períodos de lluvia, cuando hay una mayor dilución. En términos de calidad química del agua según Sládeček (1966), las aguas del río Medellín se pueden clasificar en los siguientes términos de saprobieidad: las Estaciones I y II y la quebrada La Salada se encuentran en un grado de oligosaprobiedad; la Estación III corresponde a una zona mesosaprobica; mientras las Estaciones IV, V, VI, VII y VIII corresponden a un grado de polisaprobiedad, en razón de las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, a alta concentración de DBO₅, y el bajo porcentaje en la saturación del oxígeno disuelto.

En cuanto a la interpretación de la calidad del agua del río Medellín en términos biológicos utilizando los índices de diversidad propuesto por Shannon (1948) se puede observar que las Estaciones I y II poseen valores altos de diversidad, los cuales corresponden a aguas limpias, con poca o ninguna contaminación, y con valores de 4.4 y 4.3 respectivamente. En la Estación III se observa un estado intermedio entre aguas medianamente contaminadas y contaminadas, con índices de diversidad de 3.4. A partir de la Estación IV hasta la VII inclusive, los índices de diversidad se hacen menores de 1 —con el valor más crítico en la Estación V con 0.30—; luego este valor aumenta de nuevo en la Estación VIII con 1.4.

En general, tomando la Estación I como aquella donde la deficiencia de especies (Kothe, 1962) es cero se puede ver claramente (Fig. 9) que en las áreas de mayor contamina-

ción existe una deficiencia de especies del 90o/o o más. Es además manifiesta la correspondencia que existe entre las diferentes condiciones de la calidad del agua y las poblaciones bénticas que explotan el río bajo las diversas condiciones. De acuerdo a las comunidades bénticas halladas a lo largo del río Medellín, se puede decir que las Estaciones I y II se encuentran en un grado de oligosaprobiedad; la Estación III corresponde a un grado mesosaprobiedad y que a partir de la Estación IV hasta la VIII corresponden a un grado de polisaprobiedad o de alta contaminación. De lo anterior se desprende que la casi totalidad de la hoya hidrográfica del río Medellín presenta sus aguas altamente contaminadas, pudiéndose clasificar de acuerdo a Tümping (1968) como aguas clase IV, a la cual corresponde: alta contaminación; condiciones de anaerobiosis la mayor parte del tiempo; no recomendable para ningún uso a excepción de alcantarilla, ya que su uso para irrigación es dudoso desde el punto de vista higiénico.

Respecto a las quebradas afluentes, la única que presenta buena calidad de agua, con aceptables valores en los diferentes parámetros físico-químicos y una amplia diversidad de especies, es la quebrada La Salada a la cual corresponde un grado de oligosaprobiedad o aguas poco contaminadas. Los

demás afluentes examinados en este estudio se hallan altamente deteriorados debido a las características de los desechos que reciben —domésticos e industriales— lo cual permite solamente el establecimiento de especies tolerantes a la contaminación, por lo cual se pueden catalogar como polisaprobicos. De acuerdo a esto se puede inferir de que las quebradas afluentes aportan al río Medellín, la mitad o más de la carga contaminante que éste transporta.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer muy sinceramente al Dr. Gabriel Rodán (Universidad de Antioquia, Medellín) por su invaluable colaboración, corrección y crítica al presente artículo; a la Fundación Alexander von Humboldt (Bonn, Alemania Federal) por la dotación del equipo de laboratorio y reactivos empleados en este estudio; al ingeniero Alvaro Salazar (Empresas Públicas de Medellín) por su colaboración en la bibliografía sobre el río Medellín. A nuestras compañeras Margarita Correa por la confirmación de los tricópteros y a Inés Bedoya por la confirmación de los dípteros. A la institución Universidad de Antioquia por la utilización de sus instalaciones para efectuar el presente estudio.

BIBLIOGRAFIA

- ARANGO, M. C. 1982. Odonatos Inmaduros del Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. Tesis de grado, U. de A., Medellín.
- BUNKER, G. 1923. Purificación de las aguas de Medellín. Medellín, Empresas Públicas Municipales.
- . 1931. Informe sobre el aprovechamiento del río Medellín para el abastecimiento de agua de la ciudad. Medellín.
- BROWN, H. P. 1976. Aquatic Dryopoid Beetles (Coleóptera) of the United States Dept. Zoology. University of Oklahoma, USEPA.
- CORREA, M. 1980. Taxonomía y biología del orden Trichóptera en el Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. Tesis de grado, U. de A., Medellín.
- EDMUNDS, G. G. Jr., S. L. JENSEN and L. BERNER. 1976. The mayflies of North and Central America. University of Minnesota Press. Minneapolis.
- EDMONDSON, W. T. 1959. Freshwater biology. John Wiley and Sons Inc. New York.
- GAUFIN, A. R. 1973. Use of the aquatic invertebrates in the assessment of the water quality. En: Cairns y Dickson (Eds). Biological methods for the assessment of water quality. American society for testing materials, Philadelphia, Pennsylvania.
- GOODNIGHT, C. J., and L. S. WHITLEY. 1961. Oligochaetes as indicators of pollution. Proc. 15 th Indust. East conference, Purdue University Eng. Ext. Serv. 106: 139-142pp.
- HENAO, A. M. 1981. Monografía del río Medellín. II. El río Medellín en cifras. Revista Empresas Públicas de Medellín, 3: 23-43pp.
- JOHANSEN, O. A. 1977. Aquatic diptera. Entomological Reprint specialists. Los Angeles.

- KOTHE, P. 1962. Der Arbenfehlbetrag, ein einfaches Gütekriterium und seine Ahwendeung bei biologischen Vorfluteruntersuchungen. Dt. Gewässer-Kundl. Mitt. 6:60-65pp.
- MARGALEF, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega S.A. Barcelona, 951p.
- MERRIT, R. W. and K. W. CUMMINS. 1978. An Introduction of the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publ. Co. Iowa.
- OROZCO, A. 1981. Monografía del río Medellín. I. Desarrollo histórico. Revista Empresas Públicas de Medellín, 3:13-22pp.
- PENNAK, R. W. 1978. Fresh water Invertebrates of the united states. The Ronald press Co., New York.
- RIGAL, R. 1914. Abastecimiento de aguas y alcantarillado para la ciudad de Medellín. Imprenta de la Familia Cristiana, Medellín.
- ROBACK, S. S. 1974. Insects (Arthropoda: Insecta). 76-313pp. En: C. W. Hart, Jr., S. L. H. Fuller (Eds). Pollution ecology of fresh eater invertebrates, academic press, New York.
- ROLDAN, G., J. BUILES, C. M. TRUJILLO y A. SUAREZ. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. Actualidades Biológicas, 2:54-64pp.
- SALAZAR, A. 1981. Monografía del río Medellín IV. Calidad del agua. Revista Empresas Públicas de Medellín, 3:113-137pp.
- . 1983. Alternativas para el saneamiento del río Medellín y sus quebradas afluentes. Revista Empresas Públicas de Medellín, 5:7-42pp.
- SHANNON. 1948. A mathematical theory of communication. Bell system rep. 27:373-423, 623-656pp.
- SLADECEK, V., 1966. Biological zones and the water quality of streams. Vodní Hospodárství, 16:51-54pp.
- TÚMPLING, W. 1968. Suggested classification of water quality based on biological characteristics. Fourth intern. Conf. Water Poll. Research, Prague: 1-16, 1-18pp.
- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. 1979. Muestreo del río Medellín. Empresas Públicas de Medellín, Medellín.
- UNIVERSIDAD NACIONAL. 1973. Estado de la contaminación del río Medellín. Empresas Públicas de Medellín, Medellín.
- UNIVERSIDAD NACIONAL. 1975. Estado de la contaminación del río Medellín. Estudio sobre desechos líquidos industriales. EE.PP. M., Medellín.
- UNIVERSIDAD NACIONAL. 1975. Estado de la contaminación del río Medellín. Estudio sobre quebradas afluentes. EE.PP. M., Medellín.
- WEBBER, C. I. 1973. Biological field and laboratory methods for measuring the quality of surface waters and effluents. Natural environmental research office of research and development. U. S. environmental protección agency, Cincinnati, Ohio.
- WHILM, J., and T. C., Dorris. 1966. Species diversity of benthic macroinvertebrates in a stream receiving domestic and oil refinery effluents. Amer. Nat. 76:427-49.
- YOUNG, F. N. 1961. Effects of pollution on natural associations of water beetles, Purdue University Eng. Bull. Serv. 15: 373-80.

