

## CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTO, PH Y TEMPERATURA EN EL RIO BERMUDEZ (COSTA RICA) Y SU RELACION CON EL USO DEL SUELO EN LA CUENCA

*Leda Castro, Julio Fraile y Jenny Reynolds Vargas*

Escuela de Ciencias Biológicas  
Universidad Nacional, 86-3000 Heredia, Costa Rica

### RESUMEN

Se examinaron los patrones de variación espacial y temporal de la conductividad, el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura en el río Bermúdez, Valle Central, Costa Rica, durante un período de 28 meses. El uso de la tierra más común en la cuenca es el cultivo del café (53%), seguido por el uso urbano (30%), el cual aumenta conforme se desciende hacia el piso del Valle. Si bien las aguas presentan una buena calidad en el área cercana a su origen, donde el uso de la tierra que predomina corresponde a bosque o pastos, a menudo protegidos por medio de parques recreativos, el río sufre un progresivo deterioro conforme desciende y sus aguas se tornan inadecuadas para consumo humano y peligrosas para la salud de los habitantes de la cuenca. La conductividad, el pH y el oxígeno disuelto varían estacionalmente en relación con el régimen de precipitación y el aporte de las aguas de desecho.

El río Bermúdez puede considerarse representativo de los ríos del Valle Central. El deterioro de sus aguas ha hecho perder mucho de su atractivo escénico, y el río no puede ser utilizado como fuente de agua potable, ni para actividades agrícolas o recreativas. Los factores contaminantes persisten pues no se ha implementado un manejo adecuado de las aguas negras, no se ha puesto en práctica la legislación existente y vigente para obligar a las industrias a disminuir la contaminación provocada por sus efluentes, y por último, la contaminación orgánica proveniente del beneficio del café, si bien ha disminuido por la puesta en

marcha de políticas institucionales con este fin, continúa siendo de gran magnitud. Las aguas del río continúan siendo utilizadas para irrigar cultivos de hortalizas en la parte baja del río, lo que representa un peligro para la salud humana.

### ABSTRACT

Temporal and spatial variation in conductivity, dissolved oxygen, pH and temperature were monitored in the Bermúdez River, in the Central Valley, Costa Rica, during 28 months. Most of the watershed is occupied by intensively-managed coffee plantations (53%) followed by urban areas (30%). Water is of acceptable quality in the upper part of the basin, where forests and pastures predominate but gradually deteriorates until it becomes useless for almost all human activities. Conductivity, dissolved oxygen and pH show a temporal variation associated with fluctuations in precipitation and with the intensity of the contribution of waste waters.

The situation in the Bermúdez River may be considered as representative of what is occurring in other rivers in the Central Valley. Although an institutional policy to prevent organic pollution from coffee processing plants has been implemented recently, other pollution sources remain. Water from this river is currently used for irrigation of several agricultural fields in the lowlands, a fact that represents a serious human health risk. An integrated river basin management strategy is necessary.

## INTRODUCCION

Por sus características hidrogeográficas, Costa Rica posee una gran riqueza de recursos hídricos. Se ha dividido el país en 34 cuencas hidrográficas, siendo la del río Grande de Tárcoles una de las más importantes, con el río Virilla como el afluente principal. En los últimos años las aguas superficiales han sufrido tal degradación en su calidad, producto del impacto de las actividades agropecuarias, industriales y urbanísticas, que se considera la contaminación de los ríos por materia orgánica, sedimentos y efluentes domésticos e industriales como el problema ambiental más crítico del país (CCT 1983). Las transformaciones bruscas en el uso de la tierra en la cuenca del río Virilla, que incluyen un crecimiento urbano acelerado y la contaminación y el deterioro de las fuentes de agua, hacen de esta una zona prioritaria en cuanto a la necesidad de desarrollar un programa de manejo integral de los recursos hídricos (CALVO 1988, OLAYA 1985).

Desde el momento en que nacen hasta que descargan al río Virilla, el río Bermúdez y sus tributarios reciben una gran carga de contaminantes provenientes sobre todo de cultivos, efluentes domésticos y cloacales e importantes descargas industriales (textiles, químicas, del cuero, metálicas, alimenticias, etc.). Esto ha provocado un deterioro de la calidad del agua en aspectos físico-químicos y biológicos, así como desde el punto de vista escénico (CORDERO *et al.* 1979, TAHAL 1990). Estos factores, comunes en toda la región, hacen que se considere al río Bermúdez un cauce representativo del impacto de las diversas actividades humanas sobre la calidad de las aguas superficiales en el Valle Central.

No ha habido un estudio sistemático y comprensivo del comportamiento de los parámetros químicos, físicos y biológicos de las aguas del río *Bermúdez dentro de un contexto regional*. El progresivo deterioro de la calidad del agua de los ríos de la región plantea la necesidad de establecer un intenso monitoreo físico, químico y biológico, que aporte información adecuada para promover cambios en todos los niveles sociales y fundamentar decisiones políticas tendientes a la utilización y manejo sostenible del recurso hídrico.

El presente trabajo es parte de un estudio a largo plazo en el que se pretende evaluar el impacto de las actividades humanas sobre los recursos hídricos en el Valle Central de Costa Rica. El objetivo de esta investigación es examinar los patrones de variación espacial y temporal de la conductividad, el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura en las aguas del río Bermúdez, parámetros considerados indicadores básicos de la calidad de las aguas y de establecer asociaciones de orden cualitativo con algunos parámetros hidrológicos y con los patrones de uso de la tierra en la cuenca. Estudios posteriores incluirán el análisis de las variaciones de algunos iones en las aguas del río Bermúdez, así como de las comunidades de algas diatomeas en diferentes puntos del mismo.

## MATERIALES Y METODOS

El río Bermúdez, que recorre 22 km. desde su nacimiento en las cercanías del cerro Chompipe (2.259 m.s.n.m.) hasta su confluencia con el río Virilla, sirve de drenaje a una subcuenca de 73,8 km<sup>2</sup>. Esta se localiza en la parte superior del Valle Central Oeste y está formada por materiales derivados de la actividad de los volcanes Barva, Poás, Irazú y con una topografía muy irregular, especialmente en la parte media y superior de la cuenca. Los ecosistemas originales, de los cuales quedan solamente pequeñas áreas, corresponden a las zonas de vida denominadas Bosque Premontano Húmedo (800-1.300 m.) y Bosque Premontano Muy Húmedo (1.300-1.700 m.), de acuerdo con la clasificación de HOLDRIDGE (1982).

Para efectos de este estudio se delimitó la cuenca del río Bermúdez hasta unos 2 kilómetros antes de su confluencia con el río Virilla, incluyendo todos sus tributarios excepto el denominado Quebrada Seca (figura 1). Esta delimitación comprende un área de 49,3 km<sup>2</sup>. Se seleccionaron cinco puntos de muestreo que colectan aguas de áreas que presentan diferencias en el uso de la tierra en la cuenca, a lo largo de un gradiente altitudinal. El primer punto de muestreo se encuentra a 1.490 m. de altitud y el último punto a 880 m.s.n.m. Todos los puntos se indican en la figura 1. Las muestras de agua se tomaron por duplicado en frascos plásticos de 1 litro. El muestreo se realizó con una periodicidad

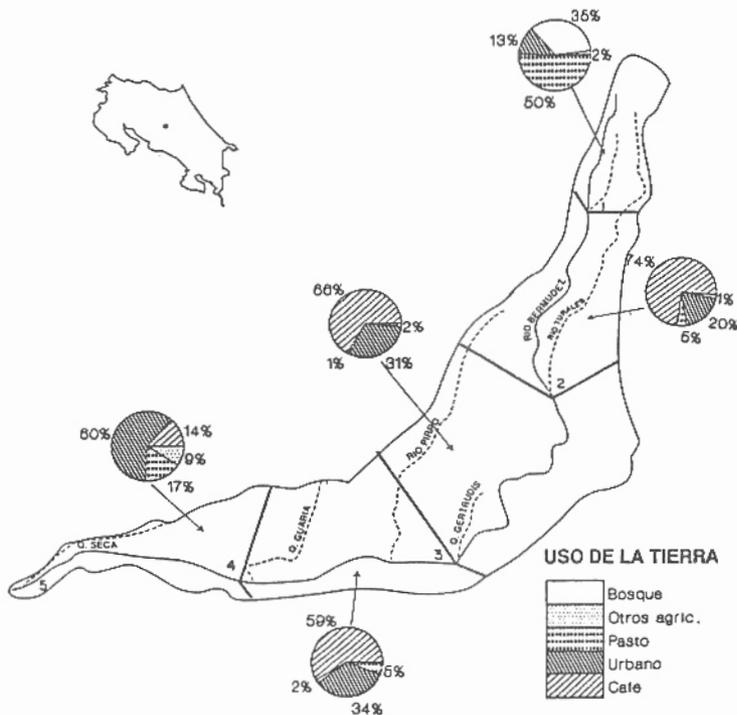


Figura 1. Localización de los puntos de muestreo (1 a 5) en la cuenca del río Bermúdez y uso de la tierra en las áreas asociadas.

mensual entre mayo de 1992 y setiembre de 1994 (28 meses).

La temperatura y el oxígeno disuelto fueron medidos en el lugar de muestreo, en horas de la mañana, entre la 9 a.m. y 12 mediodía, iniciando en la estación 5 y finalizando en la parte alta del río (estación 1). Las muestras obtenidas fueron transportadas el mismo día al Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad Nacional para el análisis posterior de la conductividad y el pH. La primera se midió utilizando un conductivímetro YSI Model 35 y el pH potenciométricamente con un peachímetro Beckman 50. El contenido de oxígeno disuelto se expresa en mg/l, habiéndose realizado ya correcciones con base en la altitud y temperatura.

Para el estudio del uso del suelo se utilizaron los mapas de uso de la tierra (escala 1:10.000), del Instituto Geográfico Nacional (IGNCR 1991). Se establecieron tres zonas altitudinales asociadas con el uso predominante de la tierra. Los datos de

precipitación, correspondientes al período de estudio, se obtuvieron en la estación meteorológica ubicada en la Finca Santa Lucía, propiedad de la Universidad Nacional, a 1.200 m.s.n.m. Los datos de caudal corresponden a aforos realizados por personal del Instituto de Acueductos y Alcantarillados durante el período abril 94-marzo 95 en la estación 2.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Con base en datos recopilados durante 17 años en la estación meteorológica Santa Lucía, en la zona se presentan dos estaciones bien definidas: un período lluvioso de 7 meses y una estación seca entre los meses de diciembre y abril. La temperatura media anual del aire es de

19,2 °C, y oscila entre los 18,2 °C en octubre y los 20,5 °C en abril. La precipitación media anual es de 2.242 mm., con un mes más seco en enero (7,8 mm.) y más lluvioso en octubre (414,1 mm.). La estacionalidad de la precipitación se manifiesta en el régimen de caudal del río Bermúdez. Así, según datos de los aforos en la estación 2, el río presentó un caudal de 0,84 l/s en abril de 1994, mientras que en agosto del mismo año se midieron 68 l/s.

**Uso de la tierra.** El análisis del uso de la tierra en la cuenca (figura 1) muestra un cambio gradual desde la zona alta, en donde predominan bosques y pastos (85%), hasta la zona baja de uso principalmente urbano (60%). En la zona intermedia, el café es el uso más frecuente, apreciándose una gran disminución en el área de bosques y pastos a la vez que aumenta el uso urbano. En toda la cuenca, el cultivo del café (53,7%) y las áreas urbanizadas (30%) predominan sobre otros usos (figura 2).

**Temperatura.** Se encontraron diferencias

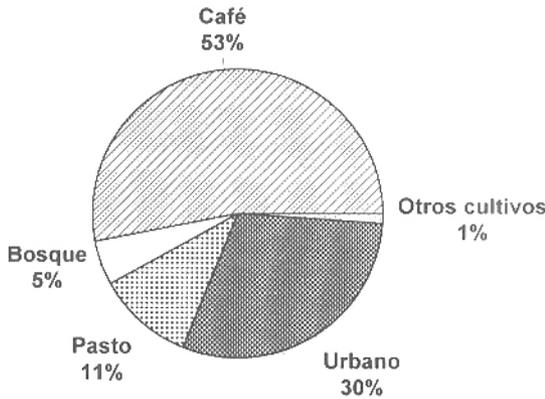


Figura 2. Distribución porcentual del uso de la tierra en la cuenca del río Bermúdez.

en los valores medios de los diferentes parámetros fisicoquímicos analizados en cada uno de los puntos de muestreo (cuadro 1). La temperatura del agua en los sitios de muestreo presenta en promedio 4 °C de diferencia entre la parte más alta (estación 1) y la más baja (estación 5), valores que se mantienen casi constantes a lo largo del año y cuya variación puede ser atribuida a factores altitudinales.

**Valores de pH.** Estos valores muestran pocas fluctuaciones en las estaciones 1 y 2 (figura 3), que se encuentran a más de 1.200 m.s.n.m. Las estaciones 3, 4 y 5, a menor elevación, muestran fuertes variaciones de pH a lo largo del año. Los valores más bajos se alcanzan en general durante la época seca.

REYNOLDS-VARGAS y RICHTER (1995) encontraron, en aguas del acuífero Barva en áreas relativamente alejadas de la influencia de las actividades humanas y cercanas al nacimiento del río Bermúdez, valores promedio de pH de 6,9 y conductividad de 80,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estos valores son similares a los encontrados en aguas de la estación 1. En vista de que el río Bermúdez se origina a partir de aguas subterráneas del mencionado acuífero, estos valores pueden ser considerados como de línea base.

El pH mostró valores medios entre 6,9 y 7,6 en todas las estaciones. En las aguas de la estación

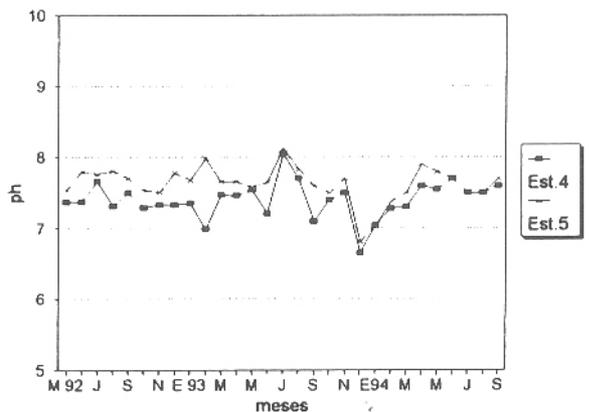
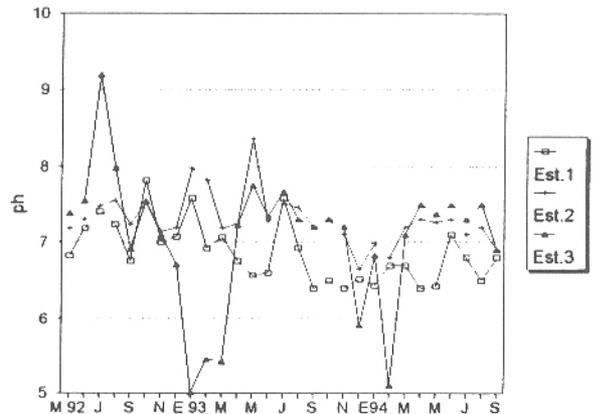
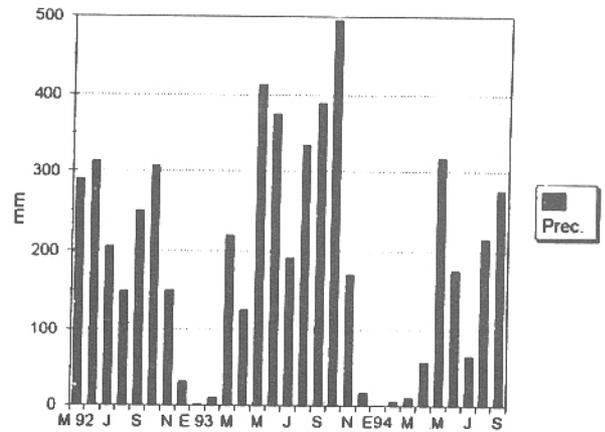


Figura 3. Variación mensual del pH y la precipitación en cinco estaciones en el río Bermúdez.

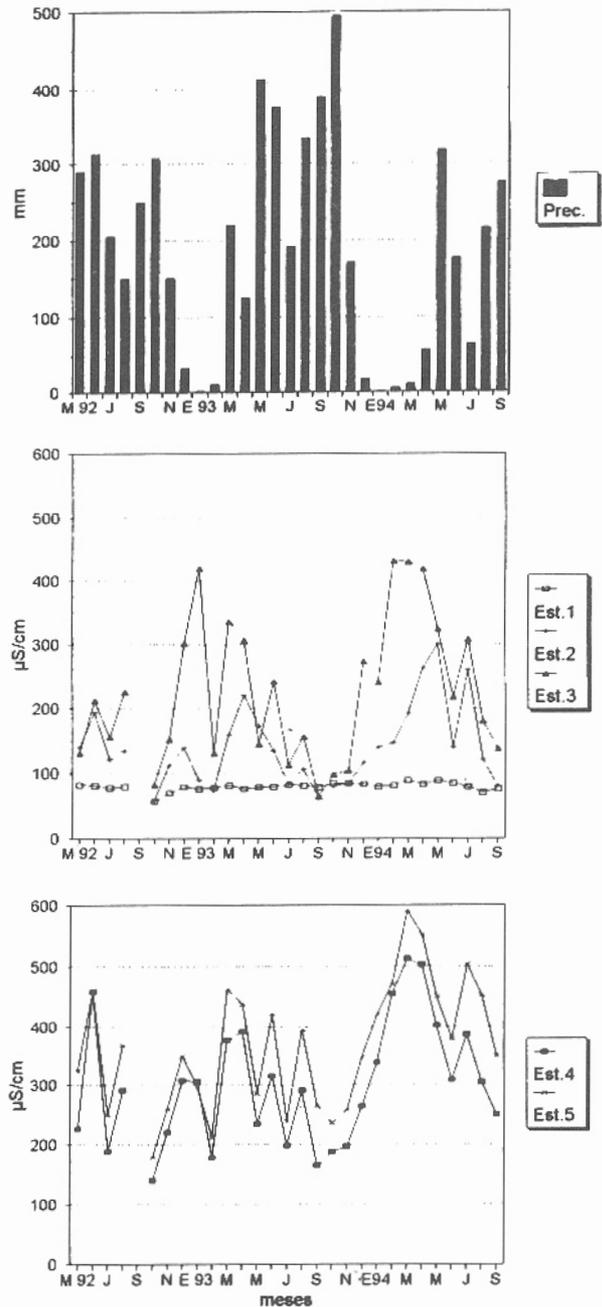
3 se determinaron en los meses de julio de 1992 y mayo de 1993 valores de pH de 9,2 y 8,4, superiores a los máximos recomendados en las normas internacionales de calidad para aguas de uso en riego (U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR 1972). Este resultado coincide con lo observado por CORDERO *et al.* (1979), en un punto no especificado en el mismo río. Sin embargo, no es posible determinar la causa de este cambio en el pH de las aguas.

La misma estación 3 mostró en otras dos ocasiones, en épocas secas, valores cercanos a 5. En este caso, estos valores podrían estar relacionados con la presencia de partículas orgánicas (broza) procedentes de los desechos del café, que se vierten al río durante los meses secos, ya que es conocida la disminución que experimenta el pH en las primeras etapas de la descomposición de los desechos orgánicos.

**Conductividad.** La conductividad (ver figura 4) manifiesta un aumento paulatino con el curso del río, con valores máximos en la estación 5 (591  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), que revelan una alta concentración de sales en la parte baja del río. Con excepción de la estación 1, en donde la conductividad se mantiene casi constante, las estaciones restantes muestran marcadas variaciones estacionales, alcanzándose en cada estación los valores mínimos en los meses más lluviosos y los máximos durante los más secos. Así, si comparamos la conductividad media de los seis meses más secos (diciembre a mayo) con la respectiva para los meses más lluviosos (junio a noviembre) observamos que en los primeros es un 8, 40, 78, 33 y 20 % mayor en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

Podrían atribuirse los altos valores de conductividad aguas abajo, en especial en las estaciones 4 y 5, a la suma de los aportes de las diversas descargas originadas por una intensificación en el uso urbano del suelo y una mayor concentración de industrias. Un total de 11 plantas beneficiadoras de café y 11 industrias (de textiles, químicas, alimenticias, de papel, tratamiento de cueros, etc.), descargan directa o indirectamente sustancias químicas variadas al cauce del río Bermúdez.

**Oxígeno disuelto.** Los valores de oxígeno disuelto se mantienen casi constantes durante todo



**Figura 4.** Variación mensual de la conductividad y la precipitación en cinco estaciones en el río Bermúdez.

el año en la estación 1, mientras que en las restantes experimentan una variación estacional (figura 5). Los máximos valores se alcanzan en los meses lluviosos y corresponden a un 100% de saturación de oxígeno y los mínimos, cercanos a cero (4 y 3%) durante la estación seca, en las estaciones 3 y 4, respectivamente. La variación estacional en el oxígeno disuelto está claramente relacionada con la precipitación, cuyo carácter estacional produce cambios marcados en el caudal del río, así como con el vertido de los desechos de café, lo cual se realiza en los meses secos.

Si bien existen épocas del año en que se alcanza un 100% de saturación de oxígeno en casi todos los puntos, este porcentaje no fue alcanzado en ningún momento en las aguas de la estación 3. En este punto es evidente un intenso uso urbano del suelo (31% del total), con predominio de actividades agroindustriales, industriales y domésticas cuyas aguas residuales se vierten con poco o ningún tratamiento al río. Esta alta contaminación, podría explicar los valores bajos de oxígeno disuelto, que en algunos meses son cercanos a cero. Las estaciones 4 y 5, localizadas aguas abajo, en áreas en donde predomina un uso urbano manifiestan un patrón semejante. Concentraciones menores a 5 mg/l pueden afectar el funcionamiento y supervivencia de las comunidades biológicas y bajo 2 mg/l puede llevar a la muerte de la mayor parte de la ictiofauna (CHAPMAN 1992).

En resumen, las variaciones en los valores de conductividad y oxígeno parecen estar relacionadas con los patrones de uso de la tierra en la cuenca. Así por ejemplo, las aguas de la estación 2, localizada en un área en donde un 75% está cubierto por café, presentan mayor conductividad y menor cantidad de oxígeno disuelto que los valores respectivos en la estación 1, donde el bosque y los pastizales son el uso dominante. El cultivo de café es sometido a fertilización 2 ó 3 veces al año, durante la época lluviosa, por lo que las aguas de escorrentía erosionan el suelo y pueden arrastrar los fertilizantes, sobre todo en las áreas de pendiente moderada y alta. Esto, aunado a descargas domésticas y desechos de un beneficio de café presente en la zona podrían contribuir a las diferencias encontradas. Se pueden establecer relaciones semejantes, de tipo cualitativo, entre las aguas de las

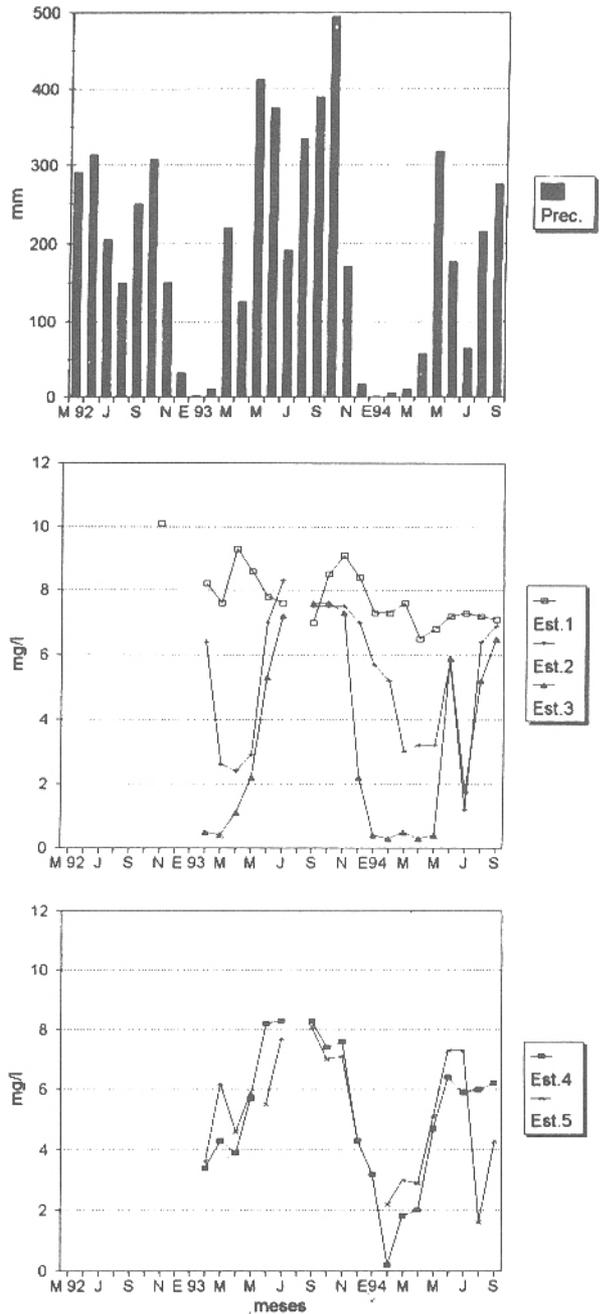


Figura 5. Variación mensual del oxígeno disuelto y la precipitación en cinco estaciones en el río Bermúdez.

estaciones localizadas a menores elevaciones y el uso del suelo predominante en cada uno de ellos.

## CONCLUSIONES

Si bien las aguas del río Bermúdez presentan una buena calidad en el área cercana a su origen, donde el uso de la tierra que predomina corresponde a bosque o pastos, a menudo protegidos por medio de parques recreativos, sufren un progresivo deterioro asociado con las actividades humanas en la cuenca, haciéndolas inservibles para consumo humano aguas abajo y peligrosas para la salud de los habitantes de la cuenca.

Es evidente la relación entre el uso de la tierra (bosque, pasto, café, urbano) y los parámetros fisicoquímicos, ocurriendo un aumento de la conductividad y una disminución del oxígeno disuelto a medida que se intensifican las actividades humanas.

La conductividad, el pH y el oxígeno disuelto presentan fluctuaciones estacionales asociadas con el régimen de lluvias. Los cambios drásticos en estos factores se producen en la época de disminución del río, y por tanto de su capacidad de dilución natural, que coincide con la época de aumento del vertido de aguas de desecho de los beneficios de café.

Las consecuencias del deterioro de las aguas en este y otros ríos del Valle Central son importantes. Además de haber perdido mucho de su atractivo escénico, el río no puede ser utilizado como fuente de agua potable ni para actividades agrícolas o recreativas.

Es aceptado el hecho de que la ecología y la biogeoquímica de las corrientes de aguas superficiales deben ser estudiadas en el contexto de su entorno terrestre. El enfoque debe ser integral, tomando en cuenta que la cuenca es considerada la unidad primaria formada por un complejo de factores ambientales interactuantes (DOWNS *et al.*, 1991). Es muy probable que los cambios observa-

dos en la calidad de las aguas del río Bermúdez sean el resultado de la interacción compleja de muchas variables. Las actividades agrícolas, domiciliarias, agroindustriales e industriales, los procesos de erosión fuertemente controlados por la hidrología, la deforestación, el manejo inadecuado de los suelos y la falta de protección de las áreas aledañas al río, son factores que inciden en mayor o menor grado en modificar la calidad natural de las aguas del río Bermúdez. La cuantificación de la influencia de cada uno de esos factores merece la atención futura de investigadores y planificadores.

## RECOMENDACIONES

- Poner en ejecución las políticas institucionales existentes para hacer disminuir o desaparecer la contaminación orgánica proveniente del beneficiado del café.
- Instruir a los agricultores para que no se continúe utilizando las aguas del río para irrigar cultivos de hortalizas en la parte baja de este, en vista de que esto representa una seria amenaza para la salud humana.
- Llevar a cabo a nivel municipal y de cuenca, un programa de manejo y tratamiento adecuado de las aguas negras, con el fin de evitar que estas sean descargadas directamente al río.
- Poner en ejecución la legislación existente y vigente para obligar a las industrias a disminuir la contaminación provocada por sus efluentes, a los niveles recomendados en la ley.
- Establecer programas de educación ambiental a nivel formal y no formal en las comunidades, con el fin de que sean los mismos habitantes los que impulsen y colaboren para lograr los cambios necesarios para lograr un manejo adecuado de los recursos hídricos.

## REFERENCIAS

- Calvo, A., J. 1988. Los recursos hídricos de Costa Rica. En: Los recursos naturales y su conservación. San José, EUNED. pp. 45-51.
- Chapman, D. (Ed.). 1992. Water Quality Assessments. London, Chapman and Hall. 585 pp.
- Cordero, A., Chacón, B. y Rodríguez, E. 1979. Contaminación del río Bermúdez, Alajuela. *Agronomía Costarricense* 3: 109-113.
- CCT. 1983. Costa Rica, Perfil Ambiental. Centro Científico Tropical, San José. Editorial Trejos, Costa Rica. 152 pp.
- Downs, P.W., Gregory, K.J. y Brookes, A. 1991. How integrated is river basin management. *Environmental Management* 15: 299-309.
- Holdridge, L.R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 pp.
- IGNCR. 1991. Mapas uso de la tierra. Escala 1: 10.000. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica.
- Olaya, A. 1985. Metodología para determinar prioridades de manejo integral de Cuencas Hidrográficas y su aplicación en Costa Rica. Tesis Mag. Sc., UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 196 pp.
- Protti-Martinelli, E. 1983. Geomorfometría. En: El sistema fluvial del Tárcoles, Costa Rica; estudios preliminares sobre geomorfometría y geofactores básicos. E. Protti *et al.*, Eds. IGN-CONICIT. pp. 11-50.
- Reynolds Vargas, J. y Richter, D.D. 1995. Nitrate in groundwaters of the Central Valley, Costa Rica. *Environment International* 21: 71-79.
- TAHAL. 1990. Plan maestro de abastecimiento de agua potable de la Gran Area Metropolitana. Tomo IV. TAHAL Consulting Engineers.
- U.S Department of the Interior. 1972. Water quality criteria. Federal Pollution Control Administration. Washington, DC. U.S. Environment Protection Agency. pp. 155-158.